

Rabensteiner Christian

Entwicklung, Konstruktion und technologische
Optimierung einer Pelton turbine um Sie
kostengünstiger herzustellen zu können.

eingereicht als

Diplomarbeit

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maschinenbau

Klausen 2012

Erstprüfer: Prof. Dr. Ing. Siegmund Ziller

Zweitprüfer: Dipl. Ing. Markus Waldboth

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am :

Optimierung einer Peltonturbine

Entwicklung, Konstruktion und technologische Optimierung einer Peltonturbine um sie kostengünstiger herzustellen, und auf dem Markt bestehen zu können.

Bibliographische Beschreibung:

Rabensteiner Christian

Kostenanalyse für Peltonturbine an realisierter Anlage

(Schwerpunkt Mechanik)

Referat:

Ziel meiner Diplomarbeit ist es, eine technologische Verbesserung hinsichtlich Konstruktion und Fertigung von Peltonturbinen auszuarbeiten um kostengünstiger produzieren zu können, da in Zukunft weitere angefertigt werden sollen und somit die Entwicklung und Bearbeitungszeiten zu minimieren, um auf dem heutigen Markt bestehen zu können.

Bei der Peltonturbine handelt es sich um eine 2-düsige Turbine mit einer Nennleistung von 540 KW. Die Peltonturbine sollte mit Schwerpunkt Fertigungstechnik erarbeitet und optimiert werden, denn ich arbeite in der Firma Kasseroler GmbH, die sich auf spanende Fertigung und Schweißbauteilen spezialisiert hat. Die Firma AC-Tech produziert Peltonturbinen und vermarktet diese auch selbst. Wir (Firma Kasseroler) fertigen schon seit Jahren in enger Zusammenarbeit mit der Firma AC-Tech Peltonturbinen in einer Größe von 80 Watt – 120 KW. Nun sollten auch Peltonturbinen mit einer Nennleistung von bis zu 550 KW gefertigt werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

2. Hydraulische Maschinen

3. Berechnung Maschinenstundensatz

4. Optimierung des Fertigungsprozesses

5. Peltonturbine

5.1 Allgemeines

5.2 Hydraulik und Strukturmechanik

5.3 Hydraulische Auslegung von Peltonturbinen

5.4 Konstruktion der Peltonturbine

5.5 Aufbau Peltonturbine

5.5.1 Injektor

5.5.2 Laufrad

6. Fertigungsoptimierung der Peltonturbine

6.1 Generator

6.2 Gehäuse

6.3 Laufrad

6.4 Detaillierte Kostenaufstellung des Laufrades

6.5 Flansch zur Abdeckung des Laufrades

6.6 Injektoreinheit

6.6.1 Düse

6.6.2 Nadel

6.6.3 Düsenstockabdichtung

6.6.4 Rohrflansch 1

6.6.5 Düsenstock

6.6.6 Rohrflansch 1

6.6.7 Stabilisierungskreuz

6.6.8 Zwischenstück

6.6.9 Mantel für Düsenstock

6.6.10 Strahlumlenker

6.6.11 Rundkopf für Strahlablenker

6.6.12 Gabel für Strahlumlenker

6.6.13 Gewindestange

6.6.14 Rohrleitung bis zur Düse

1. Einleitung

Genaue Beschreibung meiner Diplomarbeit.

Ziel meiner Diplomarbeit ist es, eine technologische Verbesserung hinsichtlich Konstruktion und Fertigung von Pelton-turbinen auszuarbeiten um kostengünstiger Produzieren zu können. Es sollen 5 Paare von immer 2 identisch gleichen Pelton-turbinen hergestellt werden. Die erste hier angeführte Turbine ist die "CUNTU".

- CUNTU – 2 Turbinen (SN14-2010+SN15-2010)
 - Bruttogefälle: 152,0 m
 - Nettogefälle: 143,9 m
 - Wassermenge max.: 800 l/s (2 x 400 l/s)
 - Wassermenge min.: 200 l/s
 - Generator: 2 x 540 KWatt/600U/min.
 - Leistung elektrisch: 2 x 480 kW
 - Regelung: je 2 Düsen (Hydraulisch)

- SEBESEL 1 – 2 Turbinen (SN25-2010+SN26-2010)
 - Bruttogefälle: 131,0 m
 - Nettogefälle: 126,0 m
 - Wassermenge max.: 900 l/s (2 x 450 l/s)
 - Wassermenge min.: 150 l/s
 - Generator: 2 x 500 KWatt/500U/min.
 - Leistung elektrisch: 2 x 470 kW
 - Regelung: 2 Düsen (Servomotoren innengeregelt)

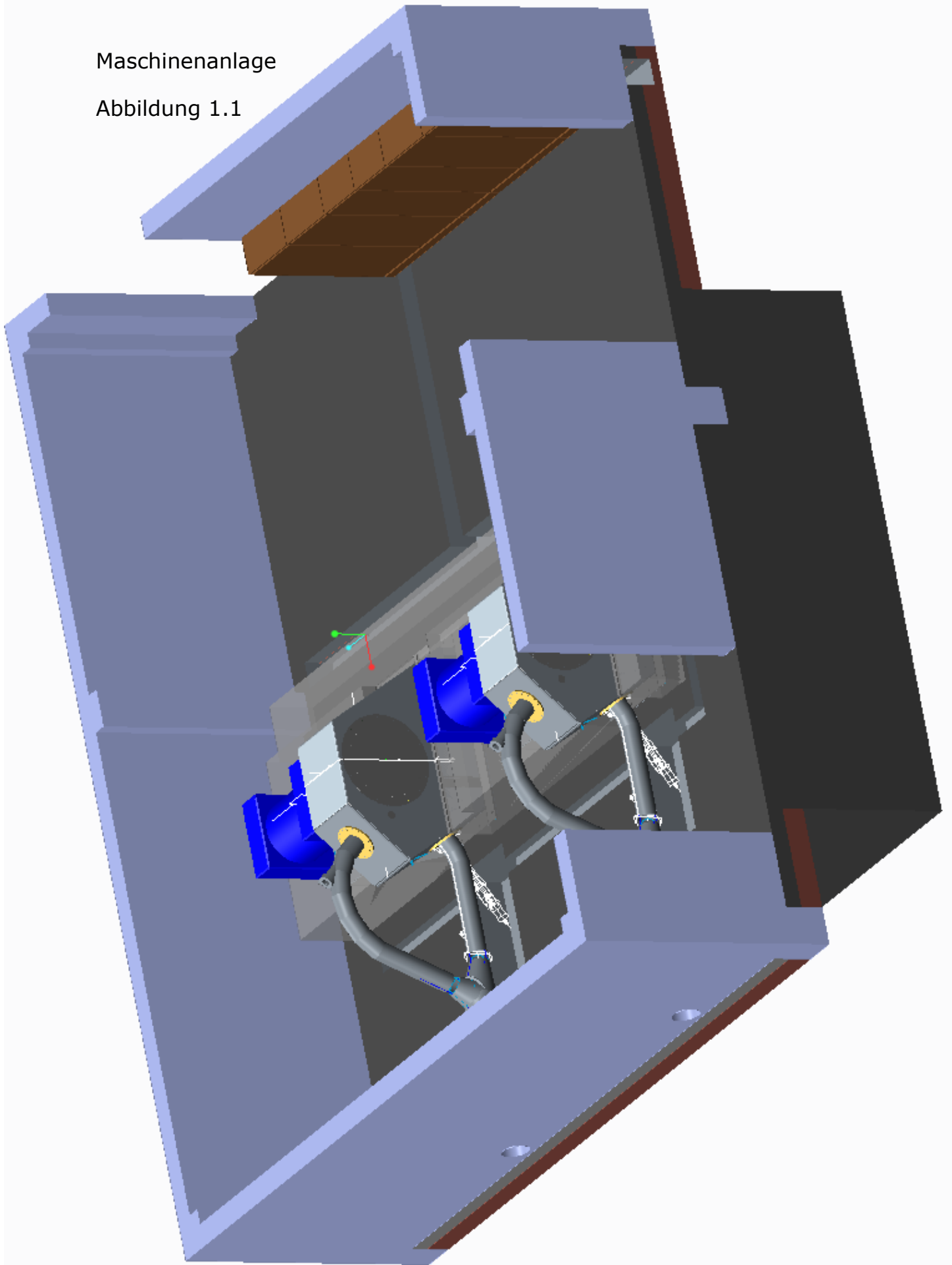
- SEBESEL 2 – 2 Turbinen (SN23-2010+SN24-2010)
 - Bruttogefälle: 130,0 m
 - Nettogefälle: 125,7 m
 - Wassermenge max.: 800 l/s (2 x 400 l/s)
 - Wassermenge min.: 200 l/s
 - Generator: 2 x 500 KWatt/500U/min.
 - Leistung elektrisch: 2 x 465 kW
 - Regelung: je 2 Düsen (Hydraulisch)

- CRAIU 1 - 2 Turbinen (SN30-2010+SN31-2010)
 - Bruttogefälle: 73,0 m
 - Nettogefälle: 70,4 m
 - Wassermenge max.: 700 l/s (2 x 350 l/s)
 - Wassermenge min.: 120 l/s
 - Generator: 2 x 250 KWatt/500U/min.
 - Leistung elektrisch: 2 x 180 kW
 - Regelung: 3 Düsen (Servomotoren
innengeregelt)

- CRAIU 2 2 Turbinen (SN32-2010+SN33-2010)
 - Bruttogefälle: 160,0 m
 - Nettogefälle: 153,9 m
 - Wassermenge max.: 800 l/s (2 x 400 l/s)
 - Wassermenge min.: 200 l/s
 - Generator: 2 x 540 KWatt/600U/min.
 - Leistung elektrisch: 2 x 500 kW (limitiert)
 - Regelung: 2 Düsen (Servomotoren
innengeregelt)

Maschinenanlage

Abbildung 1.1



Firmenporträts der beiden Firmen Kasseroler und AC-Tech:

Die Firma Kasseroler GmbH:

Die Firma Kasseroler wurde im Jahre 1898 gegründet und beschäftigt sich mit der Herstellung von verschiedenen Teilen im allgemeinen Maschinenbau. Wir fertigen Kleinserien oder auch Prototypen für verschiedene Hersteller. Wir können Schweißkonstruktionen bis zu 6m Herstellen und diese auch Zerspanend bearbeiten. Unsere große Stärke ist die Zerspanung. Wir können Dreh und Frästeile jeglicher Art herstellen.

Die Firma AC-Tech:

Die Firma AC-Tech mit Sitz in Kaltern ist seit mehreren Jahren in den Bereichen Elektronik, Elektrotechnik, Informatik und im Turbinenbau tätig. Die Produkte umfassen speziell angepasste Elektronik und elektrotechnische Anlagen sowie Wasserkraftwerke. Bis auf Miniturbinen sind alle Wasserkraftwerke Sonderanfertigungen. Die Firma AC-Tech ist auf Einzelanfertigungen und kleine Serien von Turbinen spezialisiert. Sie liefert komplette Systemüberwachungen über jegliche Kommunikationsschnittstellen.

2. Hydraulische Maschinen

Bei hydraulischen Maschinen wird dem durchströmenden Wasser über das Laufrad, Wasserrad oder ähnliches Energie entzogen und diese über eine Welle und Getriebe durch einen Generator in elektrische Energie umgewandelt. Dazu zählen auch Pumpen bzw. Pumpenturbinen bei denen Energie zur Erhöhung der mechanischen Strömungsenergie eines Fluids oder Gases eingesetzt wird und die somit das Gegenteil von Turbinen darstellen. Im engeren Sinne zählt man auch die das Laufrad umgebenden Konstruktionselemente, die für die Strömungsführung von besonderer Bedeutung sind, zu diesen Maschinen hinzu. Bei Überdruckturbinen zählt dazu das Spiralgehäuse, das Leitrad sowie das nach dem Laufrad angeordnete Saugrohr bzw. der Saugschlauch. Bei Gleichdruckturbinen zählt der direkte Zulauf, die Regulierorgane sowie das Gehäuse dazu.

1. Unterscheidungsmerkmale

grundsätzlich unterscheidet man zwischen:

a) Gleichdruckturbinen

"Unter einer Gleichdruckturbine, auch Aktionsturbine oder Impulsturbine genannt, versteht man eine Turbine, bei welcher das Arbeitsmedium vor und nach dem Laufrad den gleichen (statischen) Druck bzw. die gleiche Enthalpie aufweist. Die verwendbare Arbeit für das Laufrad kommt also ausschließlich aus der Umwandlung der Bewegungsenergie (dynamischer Druck) des Arbeitsmediums gemäß der Bernoullischen Energiegleichung. Eine Gleichdruckturbine hat einen Reaktionsgrad von Null. Beispiele für Gleichdruckturbinen sind die Peltonsturbine, Curtisturbine, Lavalturbine und die Durchströmturbine. Gleichdruckturbinen werden überwiegend in Kammerbauweise gebaut, da die Querschnittsflächen für Leckströme kleiner sind im Vergleich zur Trommelbauweise. Die Kammerbauweise

wird auch auf Grund der sehr geringen Axialkräfte möglich (diese treten in Überdruckturbinen verstärkt auf)."¹

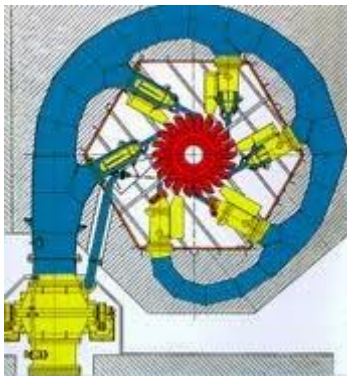


Abb.2.1)

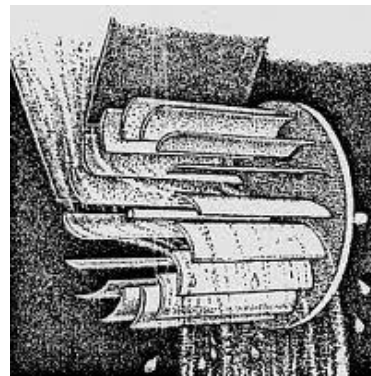


Abb.2.2)

Abbildung 2.1) Pelton-turbine

Abbildung 2.2) Durchströmturbine

b) Überdruckturbinen

Bei der Überdruckturbine wird hingegen die komplette Turbine vom durchfließendem Wasser umströmt. Es entsteht vor und nach den Laufschaufeln ein Druckgefälle. Auf dem Laufrad einer Überdruckturbine wird also der statische Druck des Mediums in kinetische Arbeit umgewandelt.

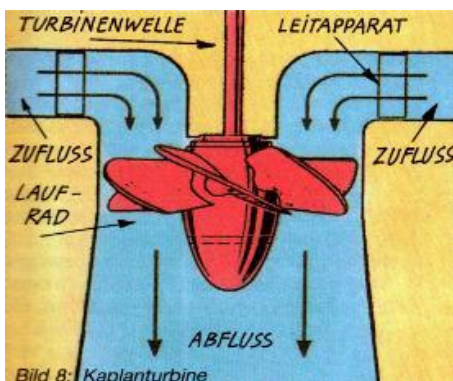


Abb2.3)

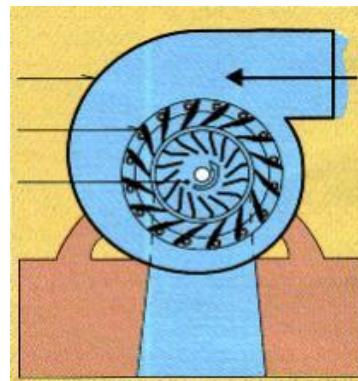


Abb.2.4)

Abbildung 2.3) Kaplanturbine

Abbildung 2.4) Francisturbine

¹ Definition laut Wikipedia

Einteilung über das Anwendungsgebiet von Wasserkraftanlagen.

Abb.2.5)

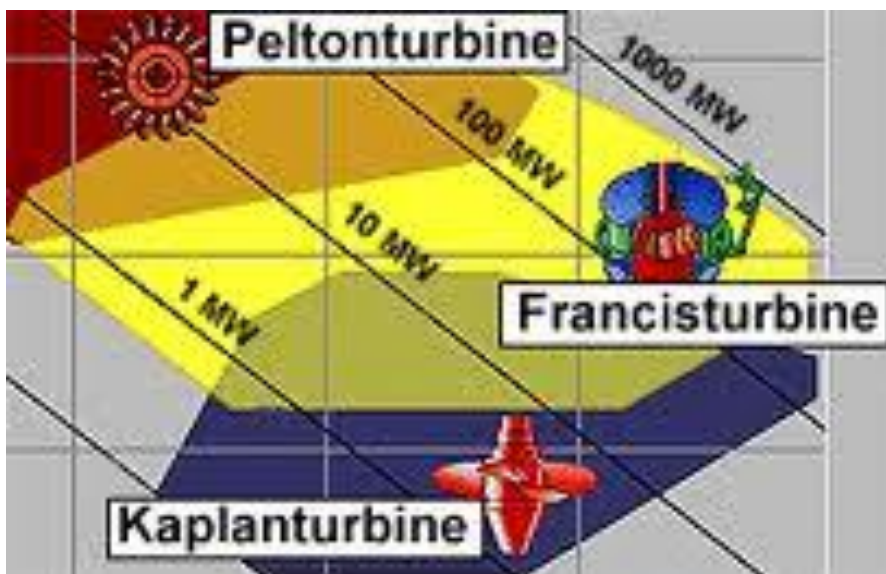
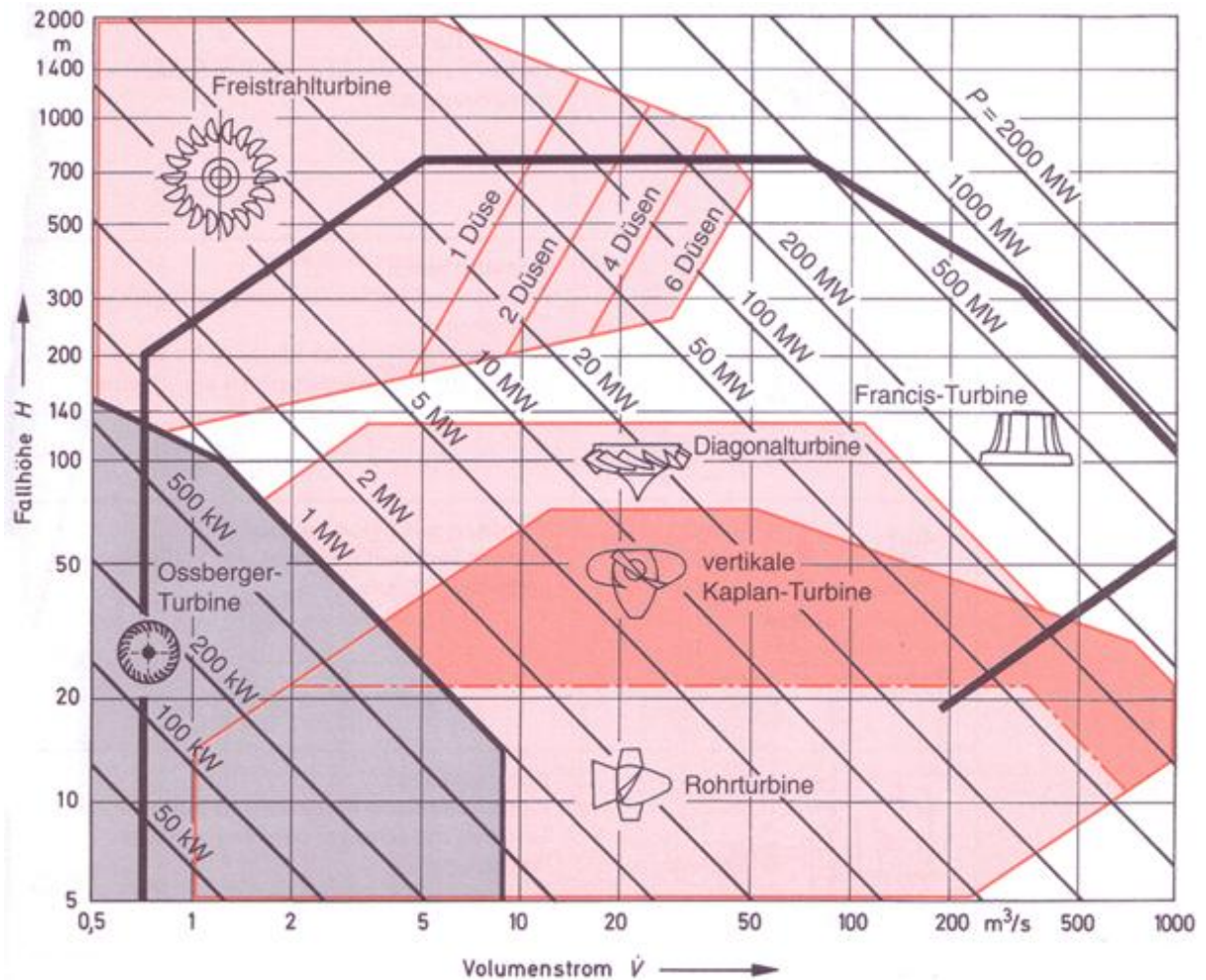


Abb.2.6)

3. Maschinenstundensatz Berechnung

Nun möchte ich den Stundensatz einer unserer Maschinen berechnen die für das Fräsen der Schaufeln zum Einsatz kommt. Bei der Maschine handelt es sich um eine Fräsmaschine der Marke Doosan DNM650 die im Jahre 2007 angeschafft wurde. Weitere technische Details der Maschine werde ich im Verlauf der Diplomarbeit weiter ausführen. Diese sind bei der Kalkulation des Maschinenstundensatzes nicht von Belangen.

Der Maschinenstundensatz beschreibt die zu kalkulierenden Kosten einer Werkzeugmaschine pro Stunde. Bei der Ermittlung des Maschinenstundensatzes sind mehrere Aspekte berücksichtigt.

- die kalkulatorische Abschreibungen K_a
- die Instandhaltungskosten K_I
- kalkulatorischen Zinsen K_Z
- die Raumkosten K_R
- die Energiekosten K_E

Maschinenstundensatzberechnung:

$$K_{MH} = \frac{K_a + K_Z + K_I + K_R + K_E}{T_N} \quad (3.1)$$

Die jährliche Maschinenlaufzeit T_N beläuft sich auf ca. 1600-1800 h/a bei Einschichtbetrieben. In unserem Betrieb fertigen wir ausschließlich im Einschichtbetrieb.

- kalkulatorische Abschreibung

$$K_A = \frac{K_{AW} - K_{VE}}{t} \quad (3.2)$$

Die kalkulatorischen Abschreibungen werden berechnet aus Anschaffungskosten der Maschine K_{AW} , der Abschreibungsdauer t und

dem Verkaufserlös der Maschine K_{VE} nach Ablauf der Abschreibungsdauer.

Die Anschaffungskosten der Maschine im Jahr 2007 betrugen € 100.000,00.

$$K_A = \frac{K_{AW} - K_{VE}}{t}$$

$$K_A = \frac{100.000\text{€} - 10000\text{€}}{8 \text{ Jahre}} = 11.250\text{€}$$

Die Abschreibungsdauer ergibt sich aus der technischen und wirtschaftlichen Lebensdauer der Maschine. Hier werden 8 Jahre angenommen. Danach hat die Maschine noch einen Verkaufswert von € 10.000,00.

- kalkulatorische Zinsen

Die kalkulatorischen Zinsen K_Z setzen sich wie folgt zusammen. Dabei wird ein Zinssatz von 5% angenommen.

$$K_Z = \frac{K_{AW} - K_{VE}}{2} * i \quad (3.3)$$

$$K_Z = \frac{K_{AW} - K_{VE}}{2} * i = \frac{100.000\text{€} - 10.000\text{€}}{2} * 5\% = 2.250\text{€}$$

- Raumkosten:

$$K_R = 7 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Monat}} * 20\text{m}^2 * 12 \text{ Monate} = 1.680\text{€} \quad (3.4)$$

- Energiekosten

$$K_E = \text{Max. Leistungsaufnahme in KW} * \text{Nutzungsfaktor} \\ * \text{Energiekosten pro KWh} \\ * \text{Maschinenlaufzeit pro Jahr}$$

$$K_E = 30\text{Kw} * 0.75 * 0.2 \frac{\text{€}}{\text{Kwh}} * \frac{1600\text{h}}{\text{Jahr}} = 7.200\text{€} \quad (3.5)$$

- Instandhaltungskosten

Die Instandhaltungskosten werden mit ca. € 8.000,00 beziffert.

Die € 8.000,00 Instandhaltungskosten ergeben sich aus Erfahrungswerten der letzten Jahre für die Instandhaltungskosten unserer Maschinen, die wir leicht nach oben abgerundet haben.

$$K_{MH} = \frac{11250\text{€} + 2250\text{€} + 1680\text{€} + 7200\text{€} + 8000\text{€}}{1600\text{h}} = 18.98\text{€} \sim 19\text{€}$$

Der Maschinenstundensatz beträgt ca. € 19. Die Mannstunde beträgt ca.30€-32€. Die Kosten setzen sich aus Lohnkosten und Lohnnebenkosten zusammen. Also kommen wir auf einen Gesamtstundensatz von ca.50€.

4. Optimierung des Fertigungsprozess

Bei jedem Fertigungsprozess besteht die Aufgabe darin, Werkstücke mit den vorgegebenen Qualitätsmerkmalen und den geforderten Mengen in einer bestimmten Zeit und Kostenrahmen herzustellen. Jeder Fertigungsprozess wird auch von mehreren Störgrößen beeinflusst, deshalb ist es wichtig funktionsbestimmende Eigenschaften der Bauteile mit Toleranzen zu versehen. Die Toleranzen werden im Normalfall mit Längentoleranzen gekennzeichnet. Zudem können Sie auch noch zur genaueren Bestimmung mit Form und Lagetoleranzen gekennzeichnet werden. Liegt der Wert außerhalb der Toleranz so ist das Bauteil fehlerhaft und ist Ausschuss. Deshalb müssen wichtige Funktionsmerkmale während der Fertigung geprüft werden und gegeben falls richtiggestellt werden. In meinem bestimmten Fall, der Optimierung einer Pelton-turbine ist nicht nur der gesamte Fertigungsprozess als solcher zu optimieren sondern auch die vielen einzelnen Bauteile der Pelton-turbine. Bei den einfachen Bauteilen kann man nicht viel optimieren hinsichtlich der Bearbeitungszeiten. Bei komplizierten Bauteilen wie beim Fräsen der Schaufeln ist viel Optimierungspotenzial vorhanden. Dieses Optimierungspotenzial ist aber sicherlich nicht mit einer Serie von 40 Stück Pelton-schaufeln abrufbar. Es bedarf sicherlich mehrerer Serien von Pelton-schaufeln um die optimale Fertigungsstrategie hinsichtlich Zeit und Kostenersparnis zu finden. Bei dieser Serie von Pelton-schaufeln haben wir ca. 40h Stunden an Zeit investiert um einigermaßen gute Fräse-ergebnisse zu erzielen. Mit einigen Probieren hätten wir sicherlich noch bessere Ergebnisse erzielt. Da wir aber uns an festgelegten Termine halten mussten konnten wir nicht noch weiter probieren, auch wenn wir bessere Ergebnisse erzielen hätten können, dass wiederum nicht sicher ist. Ich denke die nächsten Schaufeln folgen und dann können wir auf unser angeeignetes Wissen beim Fräsen der Schaufeln aufbauen und weiter ausbauen um bessere Ergebnisse hinsichtlich Qualität und Kosten zu erzielen.

5. Peltonturbine

5.1 Allgemeines

Die hydraulische Energie ist in der Natur eine für die Umwandlung in mechanische Arbeit direkt nutzbare Energieform. Sie wird vorwiegend zur Erzeugung von Elektrizität genutzt. Sie stellt im ökologischen Aspekt wegen ihrer Erneuerbarkeit eine sehr breite Perspektive für die Zukunft dar. In Zukunft werden weltweit weitere Wasserkraftanlagen gebaut werden. In vielen Ländern stellt die hydraulische Energie die Hauptform der nutzbaren Energie dar, z.B. in Norwegen besteht fast die gesamte Stromproduktion aus Wasserkraft. Es gibt hauptsächlich zwei Formen der hydraulischen Energie in der Natur: als Fließwasser in Flüssen und als Speicherwasser in Stauseen. Zur Erzeugung werden verschiedene Arten von hydraulischen Turbinen verwendet.

Dazu zählt auch die Freistrahlturbine, die auch als Gleichdruckturbine oder Pelton-Turbine bezeichnet wird. Sie wurde im Jahr 1879 von dem amerikanischen Ingenieur Lester Pelton konstruiert. Die Turbine wird hauptsächlich in Berggebieten eingesetzt, wo der Wasserstand, z.B. in Form eines Stausees, einige hundert Meter bis zu 1800 Meter über den Maschinen liegt. Die Leistungen reichen von weniger kW bis zu über 400 MW. In der Schweiz kommen in den Alpengebieten vorwiegend Pelton-Turbinen zum Einsatz, zum Teil bereits seit über 80 Jahren.

Im Wesentlichen bestehen Pelton-Turbinen aus einem Laufrad mit becherförmigen Schaufeln und einem oder mehreren Düsen/Injektoren, die die Frei- bzw. Wasserstrahlen erzeugen. Dabei entströmt das Triebwasser dem Druckrohr durch eine Düse mit verstellbarer Austrittsöffnung als verhältnismäßig dünner Wasserstrahl und trifft auf eine Schaufel. Aus der Ablenkung des Wasserstrahls, der die Schaufel beaufschlagt, entsteht eine Impulskraft, deren Größe von der Bewegungsgeschwindigkeit der Becher abhängt. Fast vollständig

beinhaltet dieser freie Strahl den ursprünglichen potenziellen Energiegehalt des Triebwassers in Form von kinetischer Energie.²

Anhand der zur Verfügung stehenden Abflüsse sowie der Fallhöhe unterscheidet man zwischen Freistrahlturbinen mit horizontaler Welle mit einer bis zwei, oft auch drei oder gar vier Düsen je Laufrad, welche meist als Einfachturbinen vor allem bei kleineren Anlagen sowie in Kleinwasserkraftanlagen ausgeführt werden. Parallel laufende Zwillingsturbinen mit zwei Laufrädern auf einer Welle gibt es nur selten (Abb.5.1). Pelton-Turbinen mit vertikaler Wellenausrichtung und mit bis zu sechs Düsen werden in Anlagen mit großer Fallhöhe und hohem Durchfluss in Kavernenkrafthäusern eingesetzt. Über die Welle erfolgt die Kraftübertragung auf den Generator infolge der niedrigen Drehzahl.

Die Druckrohleitung endet im Düsenrohr, an dessen Ende sich die Düse mit der im Rohr angeordneten Düsennadel zur Regulierung des Durchflusses sowie zur gezielten, bestmöglichen Einströmung der Schaufelbecher befindet. Die Düse muss optimal ausgebildet werden, um die hydraulischen Verluste infolge der großen Geschwindigkeit gering zu halten. Das Düsenrohrsystem darf nur schwach gekrümmt sein. Die Düsennadel kann über eine das Düsenrohr durchstoßende Spindel mit anschließendem Reglergestänge oder über ein komplett im Düsenrohr eingebautes Düsenmodul mit Servomotor gesteuert werden.

Der Strahlablenker, der mit der Düsennadel zur Regulierung der Pelton-Turbine notwendig ist, befindet sich auf der Düsenaußenseite. Damit das Laufrad schneller abgebremst werden kann, wird bei größeren Maschinen

² Die **kinetische Energie** ist die Energie, die ein Objekt aufgrund seiner Bewegung enthält. Sie entspricht der Arbeit, die aufgewendet werden muss, um das Objekt aus der Ruhe in die momentane Bewegung zu versetzen. Sie hängt von der Geschwindigkeit des bewegten Körpers und der Masse m ab. Die Maßeinheit der kinetischen Energie ist Joule.

in vielen Fällen eine kleine Bremsdüse, deren Strahl auf die Becherrückseite gerichtet ist, oder eine separate Bremstrubine eingesetzt. Eine mechanische Bremse genügt bei kleineren Maschinen.

Der auftreffende Strahl auf das Laufrad wird in den Becherschaufeln durch die Mittelschneide hälftig geteilt, und diese beiden Strahlhälften werden im weiteren an der ausgerundeten Becherrückwand um fast 180° umgelenkt. Die kinetische Energie des Wassers wird hierbei in eine Impulskraft auf die Becherschaufel und damit auf den gesamten Laufradumfang überführt.

Im Vergleich zu anderen Turbinentypen sind die Laufräder von Pelton-Turbinen erheblich mehr Lastwechseln ausgesetzt, da der Strahl immer nur punktuell auftrifft und damit nur einzelne Schaufeln belastet, während die anderen Schaufeln entlastet sind. Es wird daher heute meist immer ein nichtrostender Chromnickelstahl eingesetzt, der den besten Kompromiss zwischen Stabilität, Elastizität, Abriebs- und Kavitationswiderstand sowie Schweißbarkeit in sich birgt.

Früher wurden die aus Gussstahl hergestellten Becherschaufeln gesondert oder paarweise mit der Laufradscheibe verschraubt. Heute werden diese zusammen mit der Laufradscheibe komplett oder teilweise aus einem Stück gefertigt. Dabei kommen zwei Verfahren zum Einsatz: Beim Ersten wird das Laufrad aus einem geschmiedeten Stahlblock herausgefräst, wobei bei größeren Laufrädern in einem zweiten Schritt die Seitenwände der einzelnen Becher aufgeschweißt werden. Im zweiten Verfahren werden die Laufradscheibe sowie die jeweiligen Becheransätze ebenfalls aus einem geschmiedeten Stahlblock gefräst und anschließend die restlichen Becherformen mit einem speziellen Schweißverfahren lagenweise aufgeschweißt.

Ein Turbinengehäuse, das bei kleineren Turbinen als Stahlgehäuse ausgeführt wird und bei größeren meist aus Stahl- bzw. Spannbeton, umschließen das Laufrad und die Düsen. Auch die Verteilrohrleitungen sind dort eingebettet. Bei der Gestaltung des Turbinengehäuses ist darauf

zu achten, dass das von den Schaufeln abspritzende Wasser nicht wieder auf das Laufrad zurück geschleudert wird.

Bedeutend für den optimalen Betrieb ist es, dass das Laufrad nicht im Unterwasser watet, also ein ausreichender Freihang bzw. Überhang zwischen Laufrad und höchstem Unterwasserstand zur Verfügung steht sowie der Turbinenraum ausreichend belüftet wird. Darüber hinaus ist bei Pelton-Turbinen von besonderer Bedeutung, dass das Triebwasser gut von Geschiebe- und Schwebstoffen, insbesondere Quarzsandpartikeln gereinigt wird, da bei derartig hohen Geschwindigkeiten sonst erhebliche Abrasionsschäden zu erwarten sind.



Abb. 5.1)

Walchenseewerk Pelton

5.2 Hydraulik und Strukturmechanik

Durch die Interaktion zwischen dem energetischen Wasserstrahl und den rotierenden Schaufeln geschieht die Energieübertragung von Wasserstrahl auf das Pelton-Rad. Die Technologie lässt sich aufgrund derartiger hydraulischer und mechanischer Interaktionen in Hydraulik und Strukturmechanik aufteilen. Beide Kategorien repräsentieren ein breites Technologiespektrum und umfassen die gesamten Aspekte (Wirkungsgrad, Zuverlässigkeit, Lebensdauer usw.) und Komponenten eines Turbinensystems, die vielfach untereinander zu berücksichtigen sind. So liegt beispielsweise bei der Auslegung von Schaufelprofilen das Ziel vor, den maximalen hydraulischen Wirkungsgrad zu erreichen, andererseits muss die Materialsicherheit inklusive der Lebensdauer gewährleistet werden.

Die Hydraulik gilt bei Pelton-Turbinen als Kerntechnologie, die die Art und den Umfang zur Ausnutzung der hydraulischen Energie beschreibt. Sie befasst sich demzufolge mit der Erzeugung des Wasserstrahls und dem Verfahren des Leistungsaustausches zwischen dem Wasserstrahl und dem Pelton-Rad, wobei hierbei das Ziel ist, die maximal zur Verfügung stehende hydraulische Energie auszunutzen. Wird der aktuelle Stand der Technik betrachtet, dies sowohl im Neubau als auch in der Erneuerung von Pelton-Turbinen, so wird bei Pelton-Turbinen heutzutage ein hydraulischer Wirkungsgrad von 90% erreicht. Dies geht vor allem auf die praxisnahe Verbesserung der Wasserstrahlbeschaffenheit sowie experimentelle und betriebliche Optimierung der Interaktion zwischen Wasserstrahlen und Pelton-Schaukeln zurück. Bis heute gibt es aber immer noch bemerkbare Wissenslücken bezüglich der Hydromechanik von Pelton-Turbinen wegen der komplexen Strömungsverhältnissen im Wasserstrahl als auch in der instationären Interaktion zwischen der Wasserströmung mit freier Oberfläche und den rotierenden Pelton-Schaukeln.

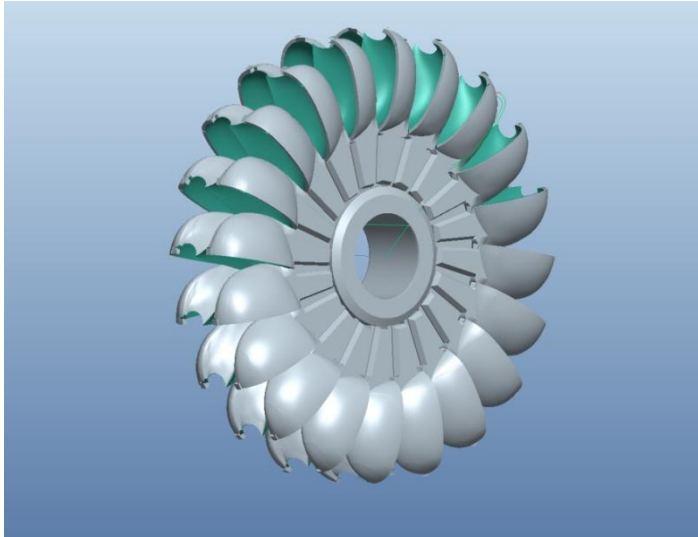


Abb. 5.2)

Ziel der hydraulischen Optimierung von Pelton-Turbinen ist in erster Linie die Erzielung eines maximalen Wirkungsgrades. Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Berechnung von Strömungsprozessen, sind bisherige Untersuchungen auf experimentelle Methoden und Modellversuche beschränkt. Die experimentellen Untersuchungen beziehen sich dabei vor allem auf den Wasserstrahl und die Strömungen in den Schaufeln, während Modellversuche hauptsächlich zu Strömungsvisualisierungen und Wirkungsgradmessungen dienen.

5.3 Hydraulische Auslegung von Peltonturbinen

Zur hydraulischen Auslegung einer Peltonturbine ist die zu verarbeitende Wassermenge und das Nettogefälle des verfügbaren Wassers von fundamentaler Bedeutung. Aus diesen Angaben kann man die potentielle Energie des Wassers errechnen. Bei der Auslegung einer Peltonturbine beginnt man mit der Dimensionierung des Pelton-Rades, Bestimmung der Düsenzahl und Festlegung der Drehzahl. Hierzu einige Punkte:

- Die Laufzahl k_m wird auch als spezifische Umfangsgeschwindigkeit des Peltonrades bezeichnet. Sie wird durch das Verhältnis Umfangsgeschwindigkeit U_m zur Strahlgeschwindigkeit c_0 definiert.

$$k_m = \frac{U_m}{c_0} = \frac{U_m}{\sqrt{2 \cdot gH}} \quad (5.1)$$

- Die Laufzahl k_m stellt einen wichtigen Parameter bei der Auslegung von Peltonturbinen dar. In der Praxis soll der Wert zwischen 0.45 und 0.48 gewählt werden um einen hohen hydraulischen Wirkungsgrad zu erzielen.
- Die Schaufelbreite sollte ca. dem dreifachen Strahldurchmesser entsprechen. $B = \text{Schaufelbreite}$ $d_0 = \text{Strahldurchmesser}$ $B = 3d_0$
- Die spezifische Drehzahl n_q sollte bei Peltonturbinen bezogen auf eine Düse den Wert von 0.13 $n_q = 0.13$ nicht überschreiten. Sollte der Wert dennoch überschritten werden kann es zu Beschädigungen der Schaufel infolge des Wasserstrahles kommen. Diese Schäden folgen daraus, dass bei hohen spezifischen Drehzahlen die Strömung in der Schaufel abreißt. Dadurch das sich die Schaufel dreht $\Delta\alpha = \omega t$ trifft der Wasserstrahl oder Wassertropfen an einer anderen Stelle in der Schaufel wieder auf und beschädigt somit die Schaufel. Diese Schäden sind bereits im praktischen Betrieb von Peltonturbinen beobachtet worden.

Alle diese Punkte müssen nun in einer bestimmten Form verbunden und berechnet werden, um in der Anfangsphase der Turbinenauslegung die Raddimensionierung, die Düsenzahl und die Drehzahl des Peltonrades zu erhalten.

Nun möchte ich mit der hydraulischen Berechnung der Pelton turbine beginnen. Diese Pelton turbine mit diesen Abmessungen wie Peltonrad, Schaufelbreite, Düsenzahl, Strahlkreisdurchmesser, Strahldurchmesser habe ich dann auch für die Kostenanalyse zur Grundlage genommen. Die Berechnungen habe ich mit einer von mir entwickelten Excel-Tabelle durchgeführt. Mit dieser Excel-Tabelle konnte ich somit schnell einige Beispiele durchrechnen, um ein besseres Verständnis hinsichtlich Auslegung und Dimensionierung von Pelton turbinen zu gewinnen. Die Berechnungen habe ich dann mit 2 oder mit 3 Düsen durchgeführt.

Diese Daten dienen zu Berechnungsgrundlage :

$\dot{Q}=0,45\text{m}^3/\text{s}$ =Durchfluss in einer Pelton turbine; Volumenstrom

$H=140\text{m}$ = Fallhöhe

Bei meinen Berechnungen habe ich mehrere Beispiele durchgerechnet um einen besseren Überblick über die Turbinenbauform zu erhalten. Die Bauform der Turbine beinhaltet; die Anzahl der Düsen, die Größe des Turbinenlaufrades und die Größe der Schaufeln.

$\dot{Q}=0,45\text{m}^3/\text{s}$ / $Z(\text{Düsenzahl})=2$ gewählt

$H=140\text{m}$ $n_q = 0.13$ $k_m = 0.475$

$$n_q = n \frac{\sqrt{\dot{Q}}}{\sqrt{Z_D * H^4}} \quad (5.2)$$

$$n = \frac{n_q * \sqrt{Z_D} * H^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{\dot{Q}}} = \frac{0,13 * \sqrt{2} * 140^{\frac{3}{4}} m}{\sqrt{0,45 m^3}} = 11,15 \frac{1}{s} \quad (5.3)$$

Rechnerisch beträgt die ermittelte Drehzahl des Generators 11,15 Umdrehungen pro Sekunde, das heißt 669,26 Umdrehungen pro Minute. Da die Drehzahl der Generatoren von der Polpaarzahl abhängig ist, kann man nicht einen Generator herstellen mit einer Drehzahl von 669 U/min, d.h. man muss den Generator so auslegen indem man ihn auf die nächst höhere oder nächst tiefer rundet.

Errechnen der Polpaarzahl :

$$n = f/P \quad (1/s)$$

P=Polpaarzahl

f=Netzfrequenz

Die übliche Netzfrequenz in Europa ist mit 50Hz genormt. In den USA, Kanada und Brasilien ist die Netzfrequenz zum Teil auch mit 60 Hz genormt.

Für den Generator ist die minimale Polpaarzahl auf 2 begrenzt. Die Drehzahl ist somit 25 1/s bzw. 1500 1/min. Unter Umständen ist die Drehzahl zu hoch und muss somit den hydraulischen und mechanischen Auslegungen angepasst werden.

$$P = f/n = \frac{50Hz}{11,15 \frac{1}{s}} = 4.48 \text{ Polpaare} \Rightarrow \text{gewählt 5 Polpaare} \quad (5.4)$$

Aus den 5 gewählten Polpaaren resultiert sich eine Drehzahl von:

$$n = f/P = \frac{50Hz}{5} = 10 \frac{1}{s} \Rightarrow 600 \text{ Umdrehungen pro Minute} \quad (5.5)$$

Aus der errechneten Drehzahl muss dann noch zurückgerechnet werden ob die spezifische Drehzahl bezogen auf die Düse (n_q) noch unterhalb dem Wert 0,13 liegt.

$$n_q = n \frac{\sqrt{\dot{Q}}}{\sqrt{Z_D} * H^{\frac{3}{4}}} = 10 \frac{1}{s} \frac{\sqrt{0,45m^3}}{\sqrt{2} * 140^{\frac{3}{4}}} = 0,116$$

Da der errechnete Wert unter 0,13 liegt kann mit der Turbinenberechnung fortgefahren werden. Sollte der Wert über 0,13 liegen muss nachgebessert werden und die Turbine neu berechnet werden. Es gibt 2 Möglichkeiten an denen Änderungen gemacht werden können. Um die spezifische Drehzahl zu verringern kann man die Polpaare erhöhen und somit verringert sich die Drehzahl des zu verwendenden Generators. Die zweite Option um die spezifische Drehzahl zu verringern ist die Erhöhung der Düsenzahl.

Der nächste Schritt ist die Bemessung des Strahlkreisdurchmessers D_m

$$D_m = \frac{k_m \sqrt{2gH}}{\pi * n} = \frac{0.475 \sqrt{2} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 140m}{3.14 * 10 \frac{1}{s}} = 0,792m \quad (5.6)$$

Die Schaufelgröße wird durch die Schaufelbreite bestimmt. Die Schaufelbreite errechnet sich wie folgt:

$$B = 2,5 n_q D_m = 2,5 * 0,116 * 0,792m = 0,229 \sim 0,23m$$

Der Strahldurchmesser errechnet sich wie folgt:

$$\frac{d_0}{D_m} = 0.81 n_q \Rightarrow d_0 = D_m * 0.81 * n_q \quad (5.7)$$

$$d_0 = 0.792m * 0.81 * 0,116 = 0,074m$$

Die Strahlgeschwindigkeit(C_0) unter Vernachlässigung von Verlusten im Injektor errechnet sich wie folgt:

$$C_0 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 * 9,81 \frac{m}{s^2} * 140m} = 52,409 \frac{m}{s} = 188,67 \frac{km}{h} \quad (5.8)$$

Leistungsberechnung der Peltonturbine:

$$P_{el.} = \Delta H * g * \dot{Q} * \eta_{turb.} * \eta_{gen.} \quad (5.9)$$

Der Wirkungsgrad bei Generatoren ist von mehreren Faktoren abhängig. Zum einen von der Größe der Generatoren. Generatoren im Bereich von 3KW haben einen Wirkungsgrad von 80%-96%. Generatoren mit 500KW haben einen Wirkungsgrad bis zu 94% und Generatoren mit 1MW bis zu 98%. Zum zweiten ist der Wirkungsgrad vom Generator von der Qualität der Herstellung und deren verwendeten Materialien abhängig.

Auch der Wirkungsgrad der Peltonturbine ist von mehreren Faktoren Abhängig. Zum einen von der Fallhöhe. Peltonturbinen die mit einem Gefälle von ca. 50m betrieben werden erreichen einen Wirkungsgrad von max. 84%. Ab 100m Gefälle bis 90% und über 200m Gefälle bis zu max.92% Wirkungsgrad. Der nächste Faktor ist der Preis. Der Kunde kann im wesentlichen selbst entscheiden wie hoch er sich den Wirkungsgrad seiner Peltonturbine garantieren lässt. Über dieses Entscheidungsmerkmal muss sich der Kunde selbst im klaren sein und eine Kosten-Nutzen-Analyse für den Kauf der Peltonturbine erstellen. Der technische Aufwand ist um ein vielfaches höher wenn ein hoher Wirkungsgrad verlangt wird. Die Schaufeln müssen mit einem höheren Aufwand gefräst werden und können nicht einfach gegossen werden, denn die hohen Qualitätsanforderungen können mit Gießen nicht erreicht werden. Auch bei der Montage und beim Schweißen ist der Aufwand höher um einen höheren Wirkungsgrad zu erzielen.

$$P_{el.} = \Delta H * g * \dot{Q} * \eta_{turb.} * \eta_{gen.}$$

$$\eta_{turb.} = 0.88$$

$$\eta_{gen.} = 0.92$$

$$P_{el.} = 140m * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0,45 \frac{m^3}{s} * 0,88 * 0,92 = 500.35Kw$$

5.4 Konstruktion der Peltonturbine

Da die Firma AC-Tech bis zu diesem Zeitpunkt noch nie Anlagen in dieser Größenordnung gebaut hat, aber bereits einen Vertrag für 10 Peltonturbinen unterzeichnet wurde, müssen die Probleme schnell gelöst werden. Ein pensionierten Dipl.-Ing., der sein ganzes Leben im Kraftwerksbau tätig war, steht mit Tat und Rat zur Seite. Die Konstruktion wird mit dem CAD-System von PTC (Pro-Engineer) durchgeführt, da die Firma AC-Tech schon jahrelang mit diesem CAD System konstruiert. Wir von der Firma Kasserler arbeiten in enger Zusammenarbeit die Detailkonstruktionen aus, um die Bauteile kostengünstig herstellen zu können. Ein wesentlicher Punkt dieser Optimierung ist das Richtige einsetzen der Toleranzen. Auch die Längen, die Form und die Lagetoleranzen müssen richtig eingesetzt werden, damit die Bauteile kostengünstig hergestellt werden können. Auch die Oberflächen sollten so wenig wie möglich Zerspanend bearbeitet werden, um die Kosten der Anlage nieder zu halten, denn Toleranzen kosten Geld. Nur die funktionellen Bereiche müssen Zerspanend bearbeitet werden. Der Rest kann entweder im Laser geschnitten oder im roh gewalzten Zustand belassen werden.

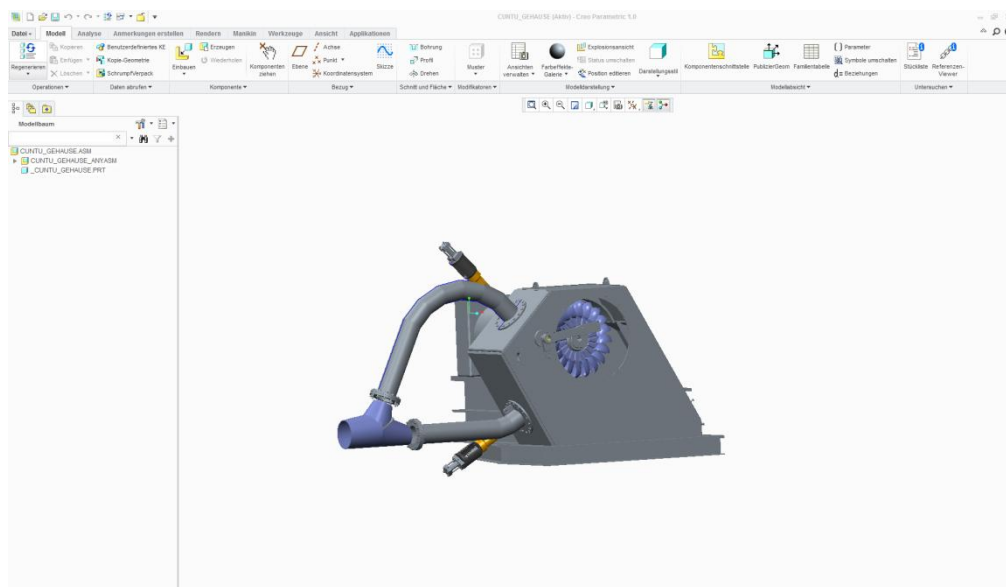


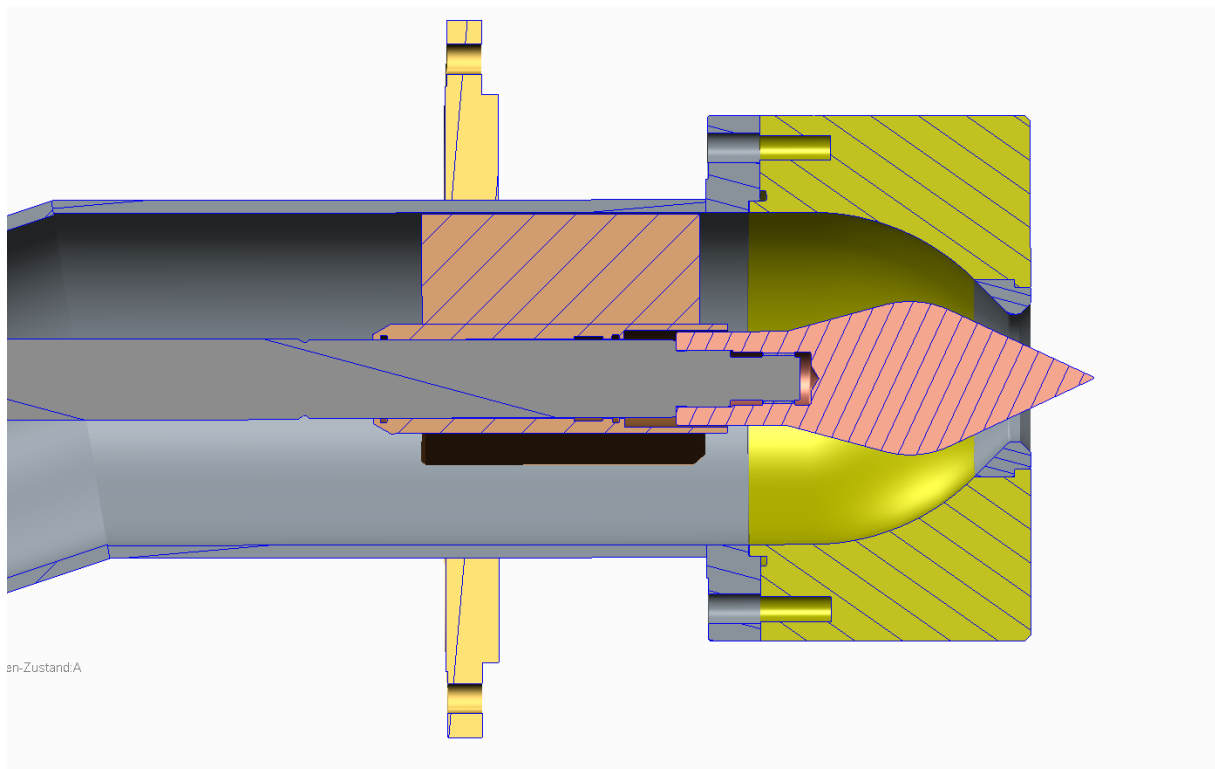
Abb.5.3)

Der zeitliche Aufwand zum Konstruieren der Pelton-turbine beträgt ca. um die 200 Stunden. Teilweise werden komplette Bauteile wieder umkonstruiert, um sie besser und einfacher fertigen zu können. Ein Zukunftsplan in der Konstruktion ist das Parametrisieren der kompletten Turbine, um sie schneller realisieren zu können. Das heißt die Turbine wird über eine Tabelle gesteuert und die Turbinengröße ändert sich beim ändern der Tabelle. Auch die Detailzeichnungen und die für die Werkstatt gerechten Fertigungszeichnungen werden automatisch geändert und angepasst. Das ist aber noch Zukunftsmusik. Wichtig ist es auch, dass die Peltonschaufeln in der Mitte der Toleranz konstruiert werden, um sie später dann ohne größere Probleme Fräsen zu können. Die anderen in der Regel "einfachen Bauteile " werden dann über eine Werkstatt gerechte Detailzeichnung gefertigt. Die Daten über die Detailzeichnung werden dann manuell in die CNC Maschine eingegeben. Teilweise ist dies sinnvoller, denn die an der Maschine programmierten Programme sind einfacher und von der Maschine schneller abzuarbeiten. Die Programme sind besser optimiert und die teilweise komplexen Frässtrategien des Cam-Programmes nicht immer nachvollziehbar. Auch die Anfahrwege und die Leerwege sind nicht immer so leicht in den Griff zu bekommen. Auch der Mann an der Maschine wird somit besser in den Fertigungsprozess eingebunden und nicht nur zum Teileeinleger an der Maschine degradiert. Ein wichtiger Schritt ist auch das genaue Nummerieren und Beschreiben des Bauteiles auf der CNC Maschine, um dieses ein nächstes Mal schneller Fertigen zu können. Auch die genaue Werkzeugposition muss eingehalten werden, um einen guten und sauberen Arbeitsdurchlauf zu garantieren. Genau diese einfachen organisatorischen Abläufe fallen unter dem Bereich Prozessoptimierung. Gute Mitarbeiter können nicht nur Teile schnell und zeichnungsgerecht Fertigen, sondern sie helfen auch mit in Zukunft diese Teile besser und einfacher fertigen zu können.

5.5 Aufbau Pelton turbine

5.5.1 Injektor

Der Injektor stellt eine der wichtigsten Komponenten einer Pelton turbine dar. Der Injektor wandelt die kinetische Energie in Form eines Wasserstrahls mit hoher Qualität um. Zudem wird auch der Durchfluss der Wassermenge reguliert. Abb.5.4)



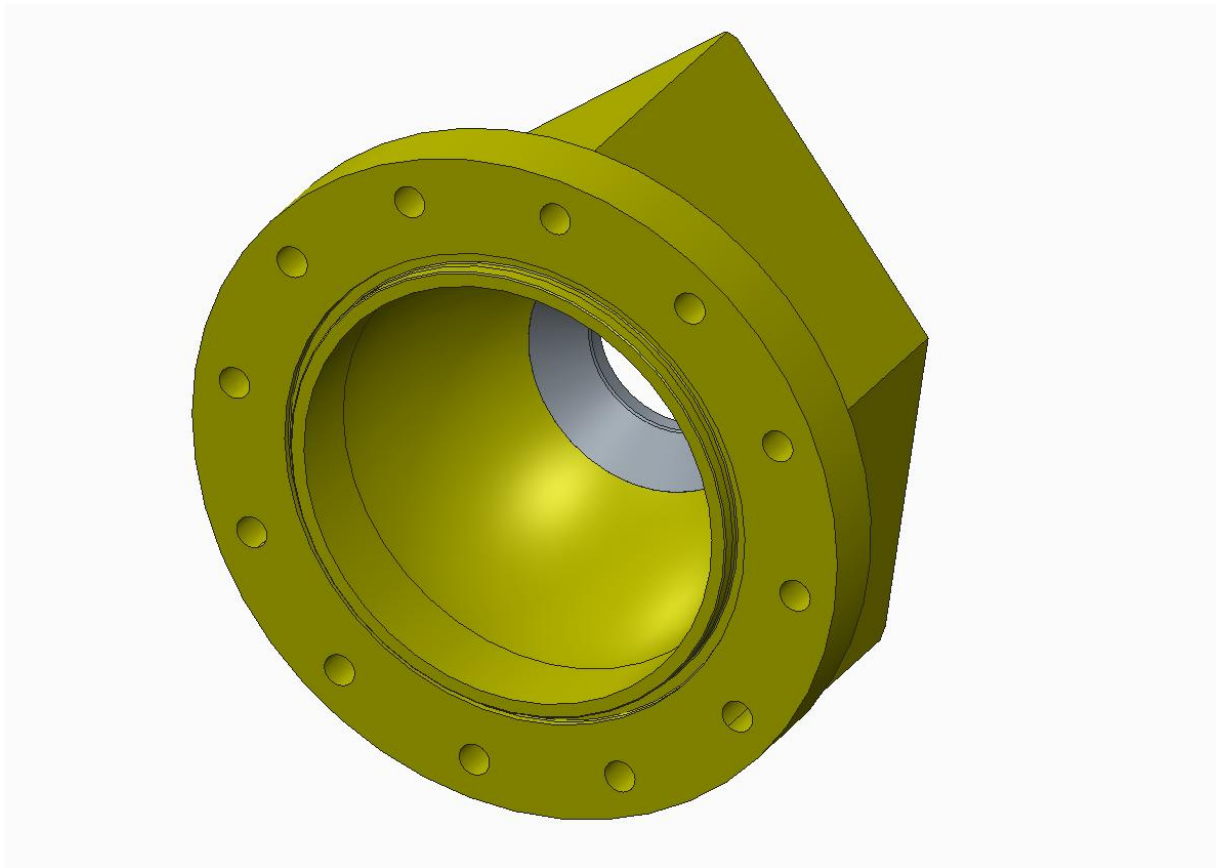
Die Abbildung zeigt das einfache Grundprinzip eines Injektors, der aus Düsenmundstück, Nadel und Servomotor besteht. Bei den meisten Pelton turbinen liegt die Regelung über den Servomotor außerhalb der Druckleitung. Außengeregelte Servomotoren geben im praktischen Einsatz weniger Problem gegenüber der innengeregelten Nadel, denn die Servomotoren sind nicht in der Druckleitung und dem aktiven Wasserstrom ausgesetzt. Wie aus der Abbildung ersichtlich sind unsere Düsen außengeregelt.

Das Düsenmundstück wurde bei unseren ersten Turbinen aus hochfestem rostfreiem Stahl gefertigt. Der Gedanke war diese nach ein paar Jahren

auszutauschen. Das Verschleißteil wurde mit einer Übermaßpassung von 0.05 mm warm aufgezogen und anschließend nachgedreht. Dieses Verfahren wurde bei den ersten 4 Turbinen eingesetzt, aber später aus Kostengründen nicht mehr angewandt.

Die folgenden Düsen wurden aus einem Teil gedreht und anschließend gefräst.

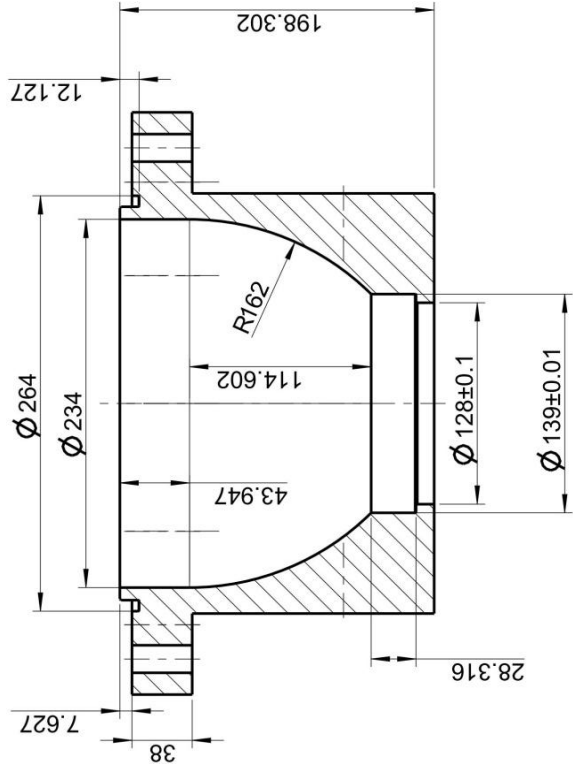
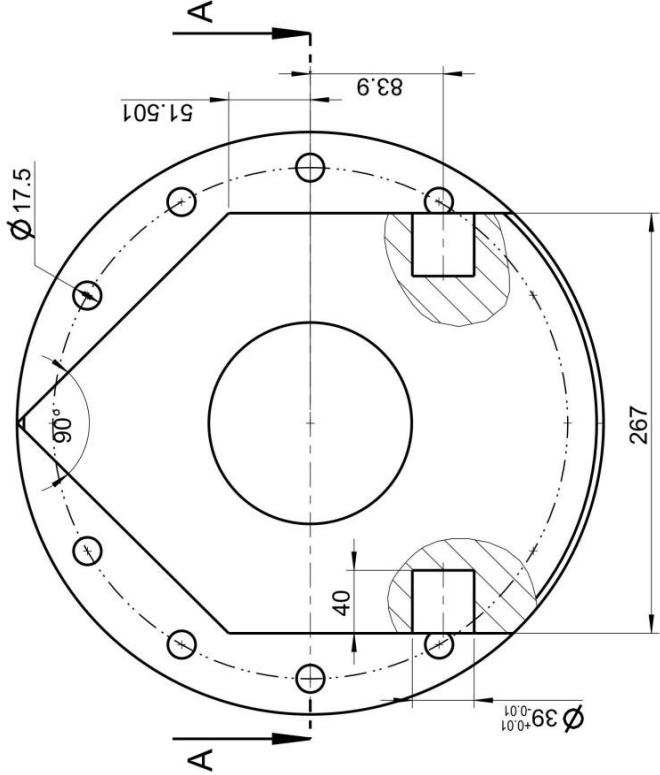
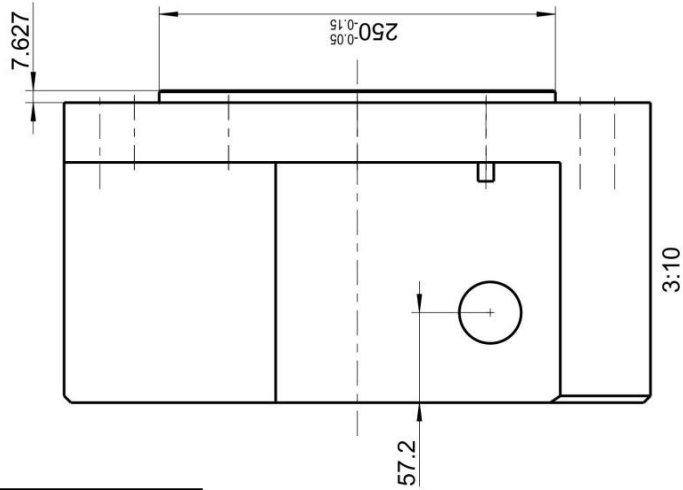
Abb.5.5)



Die Innenkontur haben wir Parametrisiert, d.h. man kann einfach über eine Tabelle den größten Innendurchmesser, den kleinsten Innendurchmesser, den Radius, die Länge usw. eingeben und automatisch wird die neue Kontur berechnet. Damit ist man schneller und kann viel flexibler Düsen fertigen. Die Nebenzeiten, wie z. B. Programmieren können somit reduziert werden.

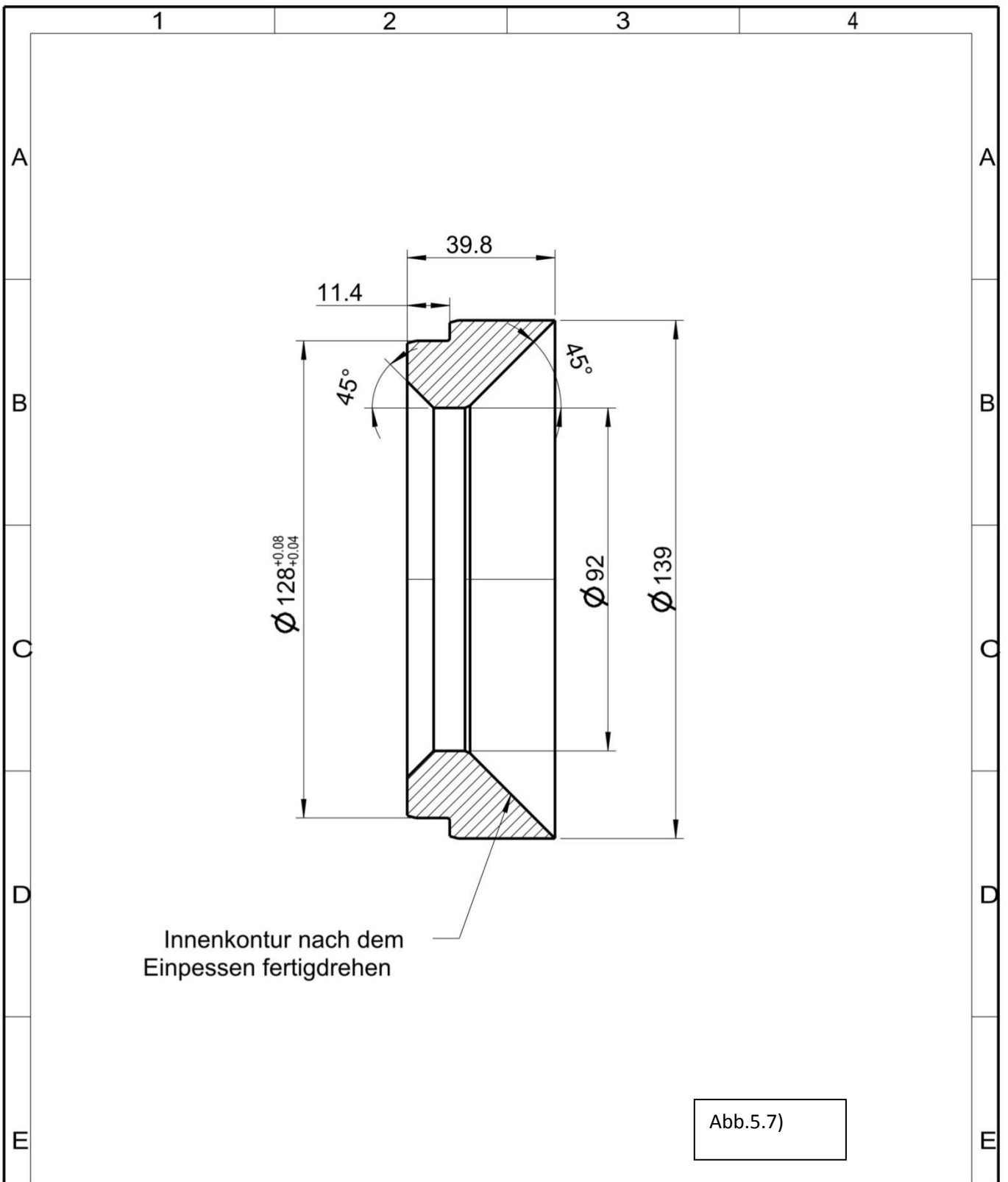
Abb.5.6)

B-B



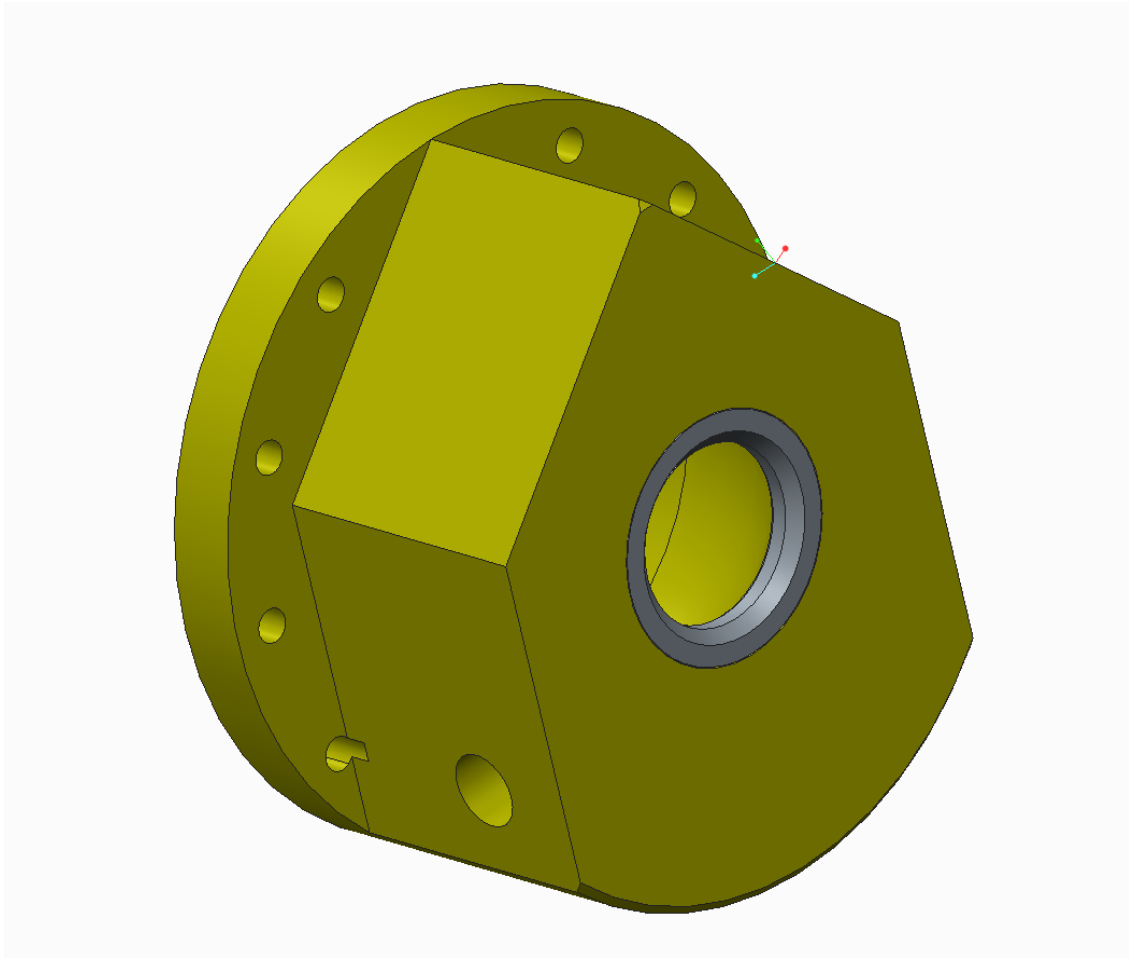
A-A
3:10

Dateiname des Zeichnungsobjektes: CUNTU_DUESE_ANY				Dateiname der Zeichnung: DUESE		Dateityp: PART	
Tolerierung - ISO 8015				Allg. Toleranz DIN ISO 2768 m - K		Maßstab 1 : 10	
Oberfläche - DIN ISO 1302				Werkstoff: Hilfszeug:		Gew.: kg	
Werkstückkanten - DIN ISO 13715							
				Datum		Name	
				Bear.			
				Gepr.			
				Norm			



Dateiname des Zeichnungsobjektes: CUNTU_DUESE_AISI420_ANY				Dateityp: PART		Dateiname der Zeichnung: DUSENMUND					
Tolerierung - ISO 8015				Allg. Toleranz				Maßstab 1 : 2		Gew.: kg	
Oberfläche - DIN ISO 1302				DIN ISO 2768				Werkstoff:		Benennung:	
Werkstückkanten - DIN ISO 13715				m - K		Halbzeug:					
				Datum		Name					
				Bear.							
				Gepr.							
				Norm							
				Kasseroler				Zeichnungsnummer:		Blatt 1	
										1 Bl.	
				Zust.		Änderung		Datum		Nam.	

Abb.5.8)



Aufgrund der Hydraulischen Optimierung werden die Düsen vielfach mit einem Steigungswinkel von 42° bis 45° konstruiert. Wie in der Abbildung ersichtlich haben wir unsere Düse mit 45° konstruiert. Die Regelnadeln weisen einen Steigungswinkel von ca. 25° auf. Unsere Regelnadel haben wir mit 25° ausgeführt. Wie aus der Abbildung ersichtlich.

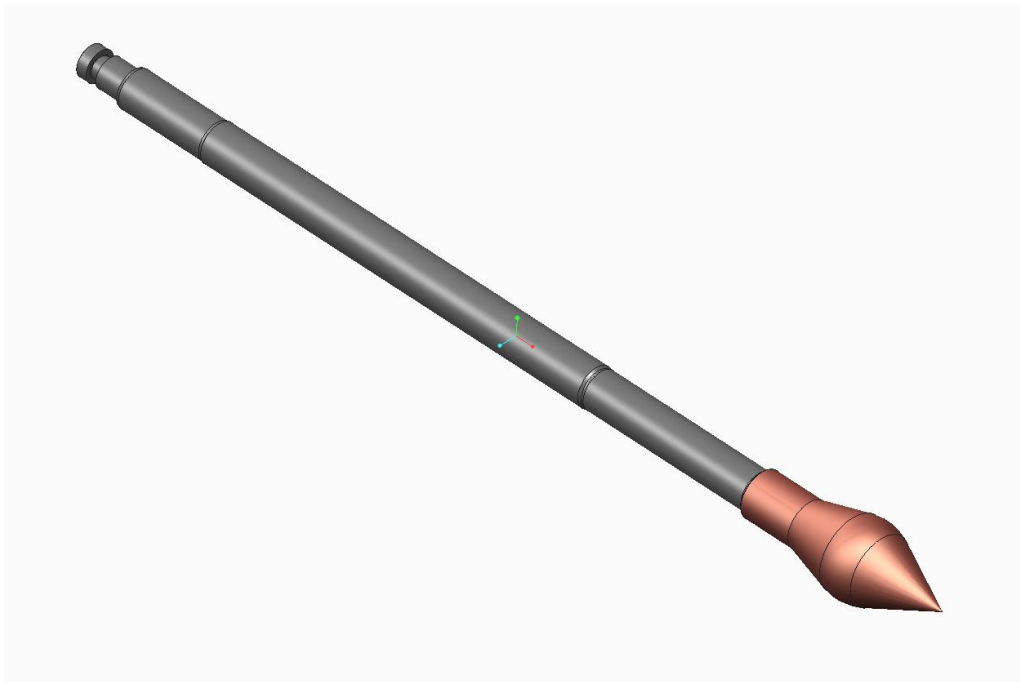


Abb.5.9)

Bei der Fertigung von den ersten Regelnadeln hatten wir große Probleme, denn die Welle und die Regelnadel (Birne) wurden aus 2 getrennten Teilen hergestellt und anschließend verschraubt. Beim Verschrauben der Teile hat sich mehrmals das Gewinde verfressen. Somit mussten wir mehrere Wellen abschneiden und erneuert fertigen. Das Problem haben wir gelöst, indem wir bei den Teilen zwei verschiedene rostfreie Stähle verwendet haben und die Gewinde mit mehr Spiel gefertigt haben.

Der Strömungsverlust eines Injektors liegt bei ca. 1-2 %.

Die Umwandlung von Druckenergie in kinetische Energie wird durch die Bernoulli-Gleichung ausgedrückt. Die Geschwindigkeit des Wasserstrahls am Austritt der Düse ist wie folgt:

$$C_0 = \sqrt{2gH} \quad (5.10)$$

Ein idealer Wasserstrahl sieht wie folgt aus :

Der Wasserstrahl besitzt eine gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung in jedem Querschnitt. Er weist außerdem einen konstanten Querschnittsverlauf ohne Strahlerweiterung auf.

5.5.2 Laufrad

Speziell möchte ich auf das Laufrad eingehen, denn es stellt mit den Düsen zusammen das Herzstück der Pelton-Turbine dar.

In vielen Unterlagen kann man entnehmen, dass mit dem heutigen Stand der Technik das Laufrad samt den Becherschaufeln aus einem Stück gegossen und anschließend noch fertiggefräst wird, um eine hohe Oberflächengüte zu erzielen. Dem ist aber nicht immer so, denn speziell beim Fertigfräsen erfordert es eine 5-Achs Maschine mit großen Abmessungen. Die Maschine verliert viel an Werkzeugweg, da die Kinematik der Maschine voll ausgenutzt werden muss, um an jeder Stelle der Schaufel fräsen zu können.

Zudem müssen die Werkzeuge und die Werkzeughalter sehr lang ausgespannt sein, um an alle gewünschten Stellen zu gelangen.

Bei so lang ausgespannten Werkzeugen kann man erahnen, dass das Zeitspannungsvolumen nicht so groß ist wie bei einem kurz eingespannten und großen Werkzeug.

Da kann es dann schon mal passieren, dass der Laufradträger einige Tage oder ein zwei Wochen auf der Maschine ist zum Fräsen. Bei den hohen Maschinenkosten (Maschinenstundensätze um € 150,00) kann man leicht errechnen, dass es nicht immer sinnvoll ist ein Laufrad aus dem Vollen zu fräsen. Außerdem können nicht alle kleineren Turbinenhersteller die hohen Anschaffungskosten einer 5-Achs Fräsmaschine tätigen.

Bei unserem Laufrad sind 21 Becherschaufeln, die einzeln auf das vorgedrehte Laufrad aufgeschweißt und verstieft werden.

Die Becherschaufeln werden in 3 Aufspannungen gefräst:

Bei der ersten Aufspannung wird die hintere Seite der Schaufel gefräst. Die Gabel, die zur Befestigung am Laufrad dient und die Freinehmung, die für einen ungehinderten Durchfluss des Wasserstrahls für die nächste Schaufel ist. (Abb.5.10)

Gabel zur Befestigung der Schaufel am Laufrad

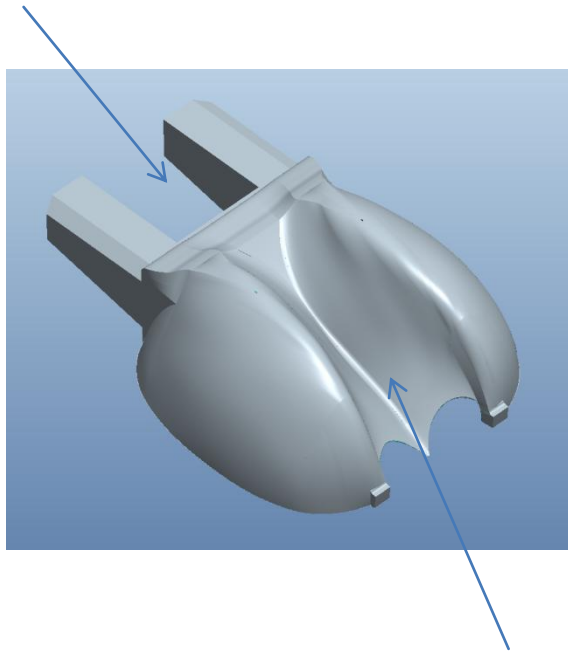


Abb.5.10)

Freinehmung für Durchfluss des Wasserstrahls für die nächste Schaufel

Beim Fräsen der Schaufeln kommt ein 3-Achs Vertikal-Bearbeitungszentrum der Firma Doosan DNM 650 zum Einsatz.

Die Abmessungen der Maschine sind (Verfahr Bereich der Maschine)

X-Achse = 1270mm (Tischgröße 1300 mm)

Y-Achse = 670mm (Tischgröße 700 mm)

Z-Achse = 635 mm

Der Eilgang des Bearbeitungszentrums ist 36m/min. Maximale Vorschubgeschwindigkeit ist 30.000 mm/min.

Antriebsleistung des Bearbeitungszentrum 18.5 KW an der Spindel. Die Leistungsaufnahme der gesamten Maschine beträgt 30 KW.



Abb.5.11)

Die Schaufel wurde aus dem Vollem gefräst, d.h. eine Welle mit Ø380 wurde in Längsrichtung zersägt und diente somit als Rohwerkstoff.

Beim Material wurde ein nichtrostender Stahl X 2 CrNiMo 18 14 3 Werkstoffnummer 1.4435 (Handelsbezeichnung 316 L) verwendet.

Dem eigentlichen Fräsen der Peltonschaufeln sind mehrere Tests vorausgegangen. Gleichzeitig wurden mehrere Vertreter von Werkzeughersteller (Seco ,Walter ,Sandvik) konsultiert um verschiedene Meinungen zu erhalten.

Ein erster Ansatz war ein Tauchfräser der Firma Iscar.



Dieses System des Tauchfräsens wurde in Betracht gezogen, da das Werkzeug axial in das Werkstück eindringt und somit die Kräfte des Zerspannens besser aufgenommen werden können.

Abb.5.12)

Die Test die wir machten waren aber nicht so vielversprechend wie wir am Anfang angenommen hatten. Beim Eintauchen in das Werkstück

wurde das Werkzeug leicht weggedrückt und beim Rückfahren der Z-Achse wurden die Wendepplatten dann abgerieben oder ausgerissen.

Aus diesem Grund probierten wir noch andere Fräser, um ein hohes Zeitspannvolumen zu erhalten.

Am Ende dieser Test haben wir uns dann für einen Fräser der Firma SecoTools entschieden. Bei diesem Fräser-Typ handelt es sich um einen Fräser mit runden Wendeschneidplatten. Runde Wendeschneidplatten sind deshalb geeignet weil sie keine scharfe Kante haben und somit bei hohen Vorschüben nicht so leicht ausbrechen können wie bei einem Fräser mit scharfen Kanten.



Abb.5.13)

Die Schnittgeschwindigkeit liegt bei diesem Wendeplattentyp bei ca. 300m/min. Der Vorschub beträgt ca. 0,3 bis 0.5 mm pro Zahn.

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * d} \quad (5.11)$$

Durchmesser des Fräasers = 50 mm

Anzahl der Schneiden =5

$$n = \frac{300 \frac{m}{min} * 1000}{\pi * 50 mm} = 1910 \text{ U/min}$$

Durch mehrere Tests und Anpassungen haben wir dann eine Drehzahl von 2200 U/min und einen Vorschub von 4200 mm/min gewählt da wir bei dieser Drehzahl und Vorschub die besten Resultate hinsichtlich Laufruhe, Zeitspanungsvolumen und Standzeit erzielten. Durch die geänderte Drehzahl ergibt sich eine Schnittgeschwindigkeit von $V_c=345\text{m/min}$ und ein Vorschub von 0.38mm/Zahn.

Das Zeitspanungsvolumen gibt an, wie viel Werkstoff pro Arbeitsminute abgetragen wird. Es ist ein Maß für die Leistungsfähigkeit der Zerspanung.

Besonders beim Fräsen zeigt sich die große Leistungsfähigkeit in dieser Zahl.³

Es lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$Q = a_p * a_e * V_f \quad (5.12)$$

Darin ist die Vorschubgeschwindigkeit:

$$V_f = z * f_z * n \quad (5.13)$$

Mit der Drehzahl n , dem Vorschub pro Schneide f_z und der Zahl der Schneiden am Werkzeug z . Also ist

$$Q = a_p * a_e * z * f_n * n \quad (5.14)$$

Kühlschmierstoffe

Kühlschmierstoffe haben in der Zerspantechnik drei Aufgaben:

1. die durch Reibung und Verformung entstandene Wärme abzuführen; 20%
2. Reibung durch Schmierung zu verwenden; 10%
3. den Abtransport der Späne unterstützen. Beim Drehen ist der Transport der Späne nicht so wichtig, hingegen beim Bohren und Fräsen spielt der Transport der Späne eine wichtige Rolle.

Die Aufgaben der Kühlschmierstoffe dienen nur einem Zweck: der Standzeitverlängerung. Neben der Standzeitverlängerung ist die Verbesserung der Oberflächengüte eine willkommene Wirkung der Kühlschmierstoffe; 70%

Bei unserem Zerspanungsproblem (Peltonschaufel) haben wir uns auf Anraten eines Zerspanungstechniklers der Firma Seco Tools dann für die Lösung mit Minimalmengenschmierung entschieden, weil die erst kürzlich von ihnen entwickelten Wendeplatten für Inox sehr geeignet sind und nur

³ Eberhard Paucksack, Zerspanntechnik, 12. Auflage

ausschließlich mit (MMS) Minimalmengenschmierung funktioniert. Wir haben zu Testzwecken versucht mit Emulsion zu Kühlen. Die Tests waren nicht zufriedenstellend, Standzeit ca. 3-5 min. Der Grund für diese kurze Standzeit ist der thermische Schock der Wendeplatte bei diesen hohen Schnittgeschwindigkeiten. Die Wendeplatten reißen aus. Bei unserer Fräsbearbeitung haben wir dann die ersten Schaufeln mit ca. 3 bar bearbeitet und ca. 25 ml/h. Später haben wir den Luftdruck bei der Innenkühlung von 2-3 bar auf 6 bar erhöht. Somit hat sich auch die Ölmenge erhöht. Wir haben dann aber manuell noch unseren einfachen Öler, den wir in den Druckluft Kreislauf der CNC Maschine eingebaut haben auf 50ml/h erhöht. Somit haben wir eine Standzeitverlängerung um ca. 10min. Die Standzeit erhöht sich von 30 min auf ca. 45min. Diese Erkenntnis ist für uns sehr wichtig, um bei den nächsten Schaufeln ein wichtiges Einsparungspotenzial zu haben.

Minimalmengenschmierung

In Zukunft versucht man aus umweltpolitischer Sicht auf Kühlschmierstoffe zu verzichten. Zur Zeit ist es aber noch nicht bei allen Fertigungsprozessen möglich ohne Kühlschmierstoffe zu arbeiten. In einigen Fällen kann man auf die Kühlwirkung verzichten, deshalb gibt es die Möglichkeit die Kühlschmierstoffe drastisch zu reduzieren und Minimalmengenschmierung einzusetzen. Bei diesem Verfahren wird in einem externen Gerät dem Druckluftstrom der zur Kühlung dient, Schmierstoff beigemischt (10ml/h). Durch dem Mischkopf werden die kleinen Tropfen in einen feinen Ölnebel umgewandelt. Durch die Spindel und die Bohrungen der Werkzeuge gelangt der Ölnebel genau an die Wirkstelle und versorgt diese mit einem kontinuierlichen Schmierfilm.

Trockenbearbeitung

Der Trend der Trockenbearbeitung wird in den nächsten Jahren ständig steigen, denn die Kühlschmierstoffbereitstellung und die umweltgerechte Entsorgung bringen große Kosten und Aufwand mit sich. Um dieses Ziel

zu erreichen, müssen in Zukunft die Schneidstoffe so konzipiert werden, damit die Energie im Span von Wärme abgegeben wird. Dies kann mit beschichteten Hartmetall, Keramiken oder CBN-Schneidstoffen realisiert werden, da diese Schneidstoffe über eine hohe Warmfestigkeit verfügen.

6. Fertigungsoptimierung der Pelton turbine

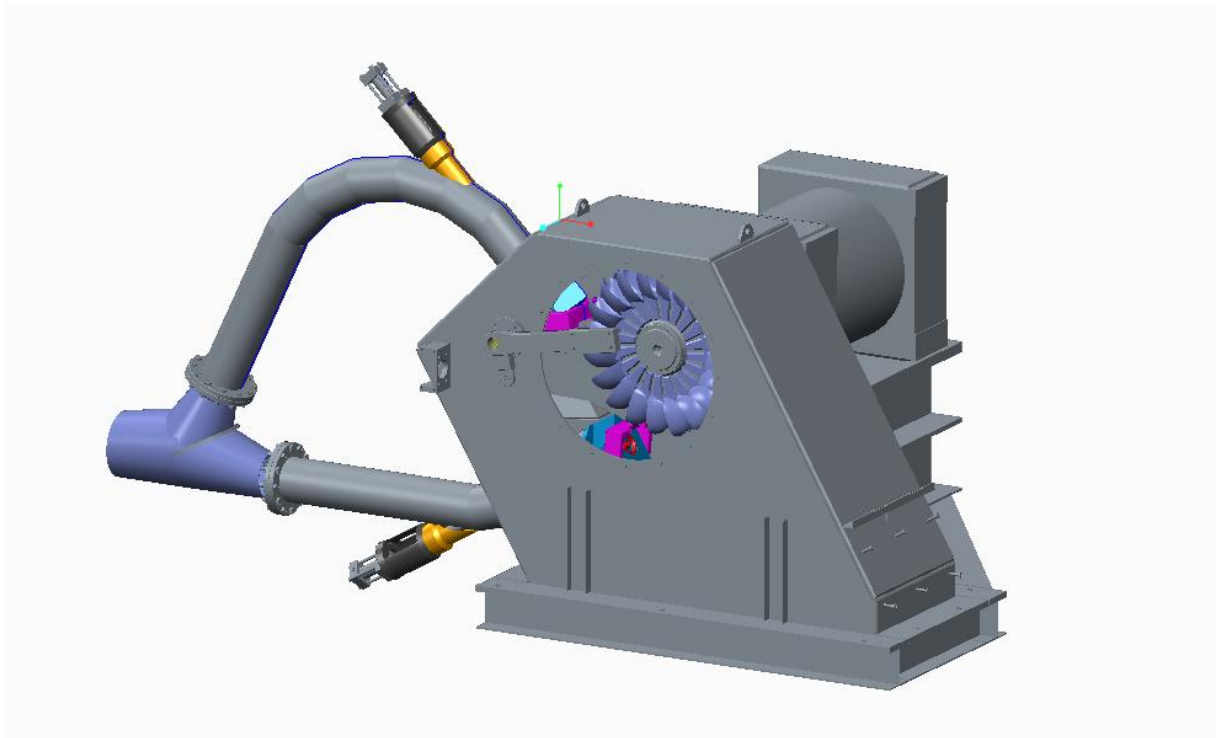


Abb.6.1

- CUNTU – 2 Turbinen (SN14-2010+SN15-2010)
 - Bruttogefälle: 152,0 m
 - Nettogefälle: 143,9 m
 - Wassermenge max.: 800 l/s (2 x 400 l/s)
 - Wassermenge min.: 200 l/s
 - Generator: 2 x 540 KWatt/600U/min.
 - Leistung elektrisch: 2 x 480 kW
 - Regelung: je 2 Düsen (Hydraulisch)

Bei der Fertigungsoptimierung der Pelton turbine in meiner Diplomarbeit möchte ich die vorher angeführte Turbine berechnen. Es handelt sich um eine 2-düsige Pelton turbine mit einer Generatorleistung von 540 Kw.



Abb.6.2)

Die beiden Turbinen kurz vor dem Abtransport in der Werkstatt in Kaltern.



Abb.6.3)

Die Die beiden Turbinen an ihren Bestimmungsort in Rumänien bei der Inbetriebnahme.

6.1 Generator

540KW 500 U/min 400V 50 HZ Marelli. Die Preisspanne bei Generatoren im Bereich von 540 KW bewegen sich im Bereich von € 38.000,00 bis € 72.000,00. Gewählt wurde der Generator der Firma Marelli, da die Firma AC-Tech schon mehrere Jahre Generatoren der Firma Marelli einsetzt und ihren Dienst gut verrichten. Der Preis des Generators beträgt € 55.000,00.

6.2 Gehäuse

Das Gehäuse wiegt ca. 4000kg und wurde aus allgemeinen Baustahl gefertigt (S235JR 1.0037). Die Stahlplatten wurden mittels einer Laserschneidemaschine geschnitten und dann verschweißt. Der Kilopreis des geschnittenen Stahles beträgt ca. € 1,00/kg bis € 1,40/kg.

Die Kilopreise bewegen sich in Abhängigkeit von den zur Zeit gehandelten Rohstoffpreisen. Zu diesem Zeitpunkt der Herstellung des Gehäuses bewegten sich die Materialkosten bei €1,40/kg. Daraus ergeben sich die Kosten von $\text{€}1,40/\text{kg} \times 4000\text{kg} = \text{€} 5.600,00$. Auch bei den Rohren für die Zuleitung wurde ein Baustahl verwendet, der in einzelne Segmente geschnitten wurde und anschließend verschweißt wurde. Die Kosten für den Zulauf inklusive Material und Arbeit belaufen sich auf ca. €3.000,00. Das ganze Gehäuse wurde nach dem Schweißen noch spannend bearbeitet. Die Kosten für die Bearbeitung belaufen sich auf € 1.680,00. Die Kosten der Zerspanung ergeben sich aus dem Stundensatz der Maschine und der dazu benötigten Zeit. Das Gehäuse wurde in 3 Werktagen fertigbearbeitet, also 24 Stunden und der Stundensatz dieser Maschine beträgt € 70,00. Die Bohrungen an denen die Düsen angeschraubt wurden, mussten nachbearbeitet werden um den genauen Einstrahlwinkel auf die Schaufel zu garantieren. Die größte Kostenstelle des Gehäuses waren die Montagearbeiten und Schweißarbeiten. Das erste Gehäuse wurde in einen zeitlichen Aufwand von ca. 350 Mannstunden hergestellt. Bei einem Gehäuse dieser Größe sind immer 2 Mann notwendig, um die großen Bauteile leichter zu Positionieren und dann zu

Verschweißen. Beim ersten Gehäuse konnte man fast sagen, dass es sich um einen Prototyp handelt da die Firma AC-Tech Gehäuse in dieser Größe noch nie hergestellt hat. Es musste eigens ein neuer Hallenkran installiert werden um die großen Bauteile bewegen zu können. In den 350 Mannstunden für das erste Gehäuse waren nicht nur Schweiß- und Montagearbeiten enthalten, sondern auch viele Änderungen, die man bei der Konstruktion übersehen hatte. Diese Änderungen wurden dann rückführend in die Konstruktion eingearbeitet. Das letzte Gehäuse wurde dann in 140 Mannstunden hergestellt. Somit konnte man sich dann 210 Stunden sparen. Das wiederum ist ein Ersparnis von $210h * €40,00/h = € 8.400,00$. Kosten für das erste Gehäuse $350h * €40,00/h = € 14.000,00$. Das Gehäuse wird dann noch pulverbeschichtet, um es vor Korrosion zu schützen. Der Preis für das pulverbeschichten des Gehäuse beträgt € 1.720,00. Mit dem Pulverbeschichten wurde eine externe Firma beauftragt da dies ein größerer Aufwand ist.

Die Gesamtkosten stellen sich wie folgt zusammen:

- € 5.600,00 für Materialkosten
- € 1.680,00 für die Bearbeitung des Gehäuses
- € 14.000,00 für Arbeit (Schweißen, Montage, Schleifen)
- € 3.000,00 für Zulaufrohre (Schweißen und Material)
- € 1.720,00 für Pulverbeschichten
- **€ 26.000,00 Gesamtkosten des Gehäuses**

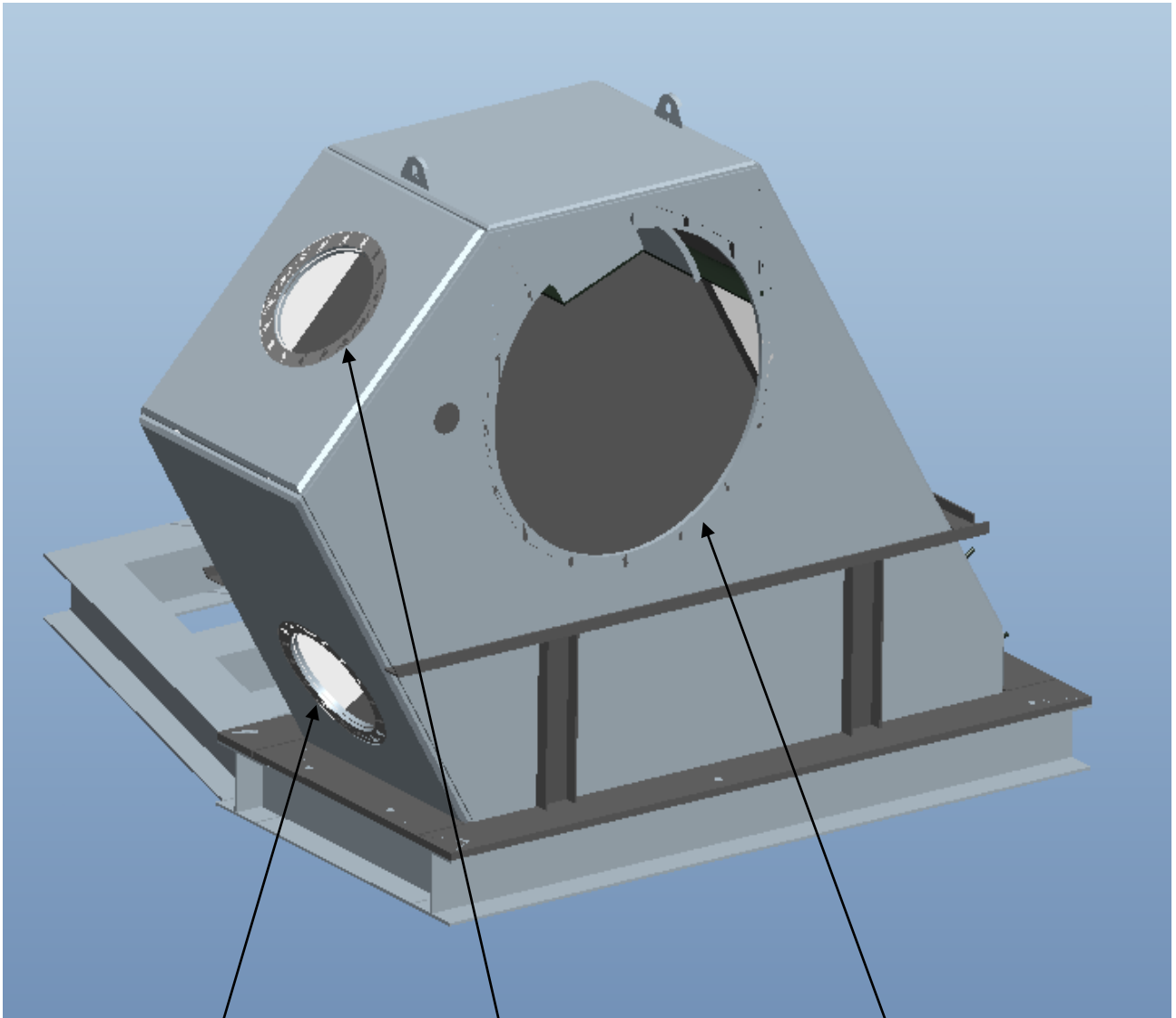
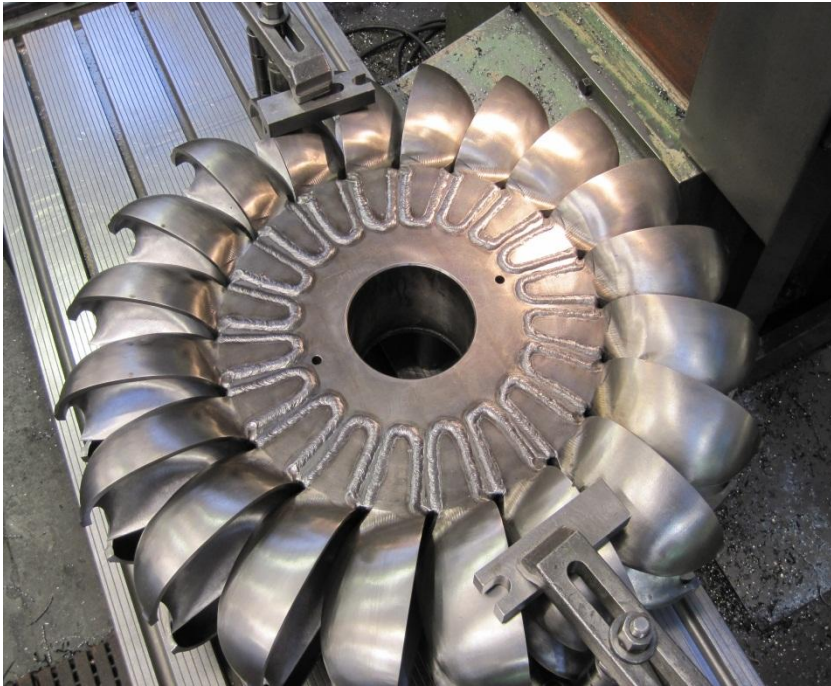


Abb.6.5)

Diese Flächen werden nach dem Schweißen nachgefräst um einen Einstrahlwinkel des Wassers zu erhalten.

6.3 Laufrad



_Abb.6.6)

Das Laufrad besteht aus 21 einzelnen Schaufeln, die dann auf den Laufradträger aufgeschweißt werden. Die Schaufeln werden aus einem halben Zylinder gefertigt.

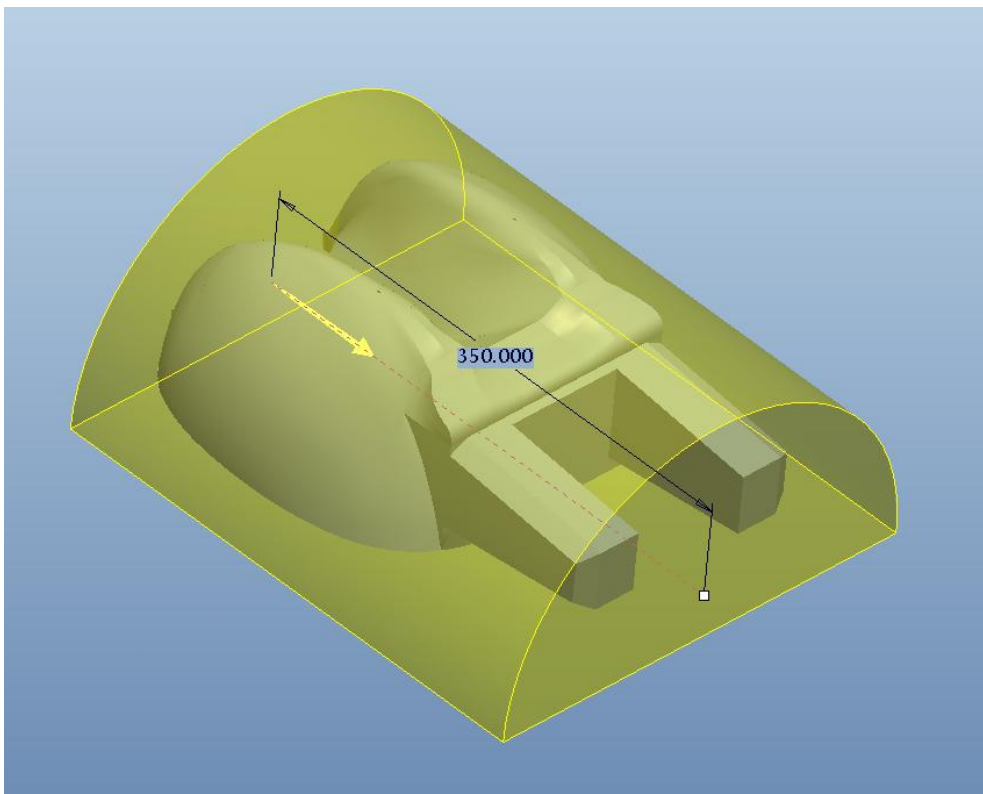


Abb.6.7)

Die Welle wird in der Längsrichtung geschnitten und anschließend auf der geschnittenen Seite plangefräst. Zusätzlich werden auf der plangefrästen Seite noch Gewinde (M16) gefertigt, damit man das Teil besser spannen kann. Zuerst wird die hintere Seite wie in der Abbildung zu sehen ist gefräst. Beim Fräsen der ersten Seite kommen 4 Werkzeuge zum Einsatz. Das erste Werkzeug ist ein Messerkopf mit \varnothing 50mm. Auf diesem Messerkopf sind runde Wendeplatten mit \varnothing 12 mm montiert.

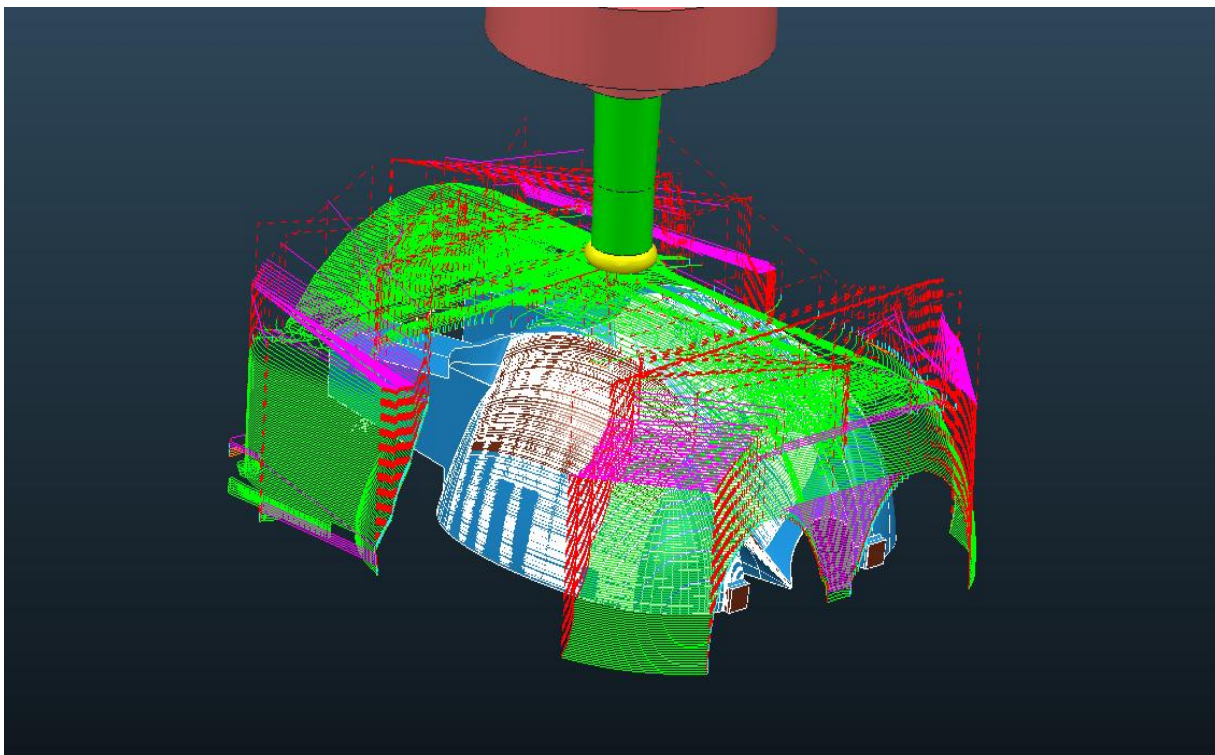


Abb.6.8)

Das zweite Werkzeug ist ein Messerkopf mit \varnothing 32 mm Durchmesser und hat 5 Wendeplatten montiert. Der Durchmesser dieser Wendeplatten beträgt 10 mm.

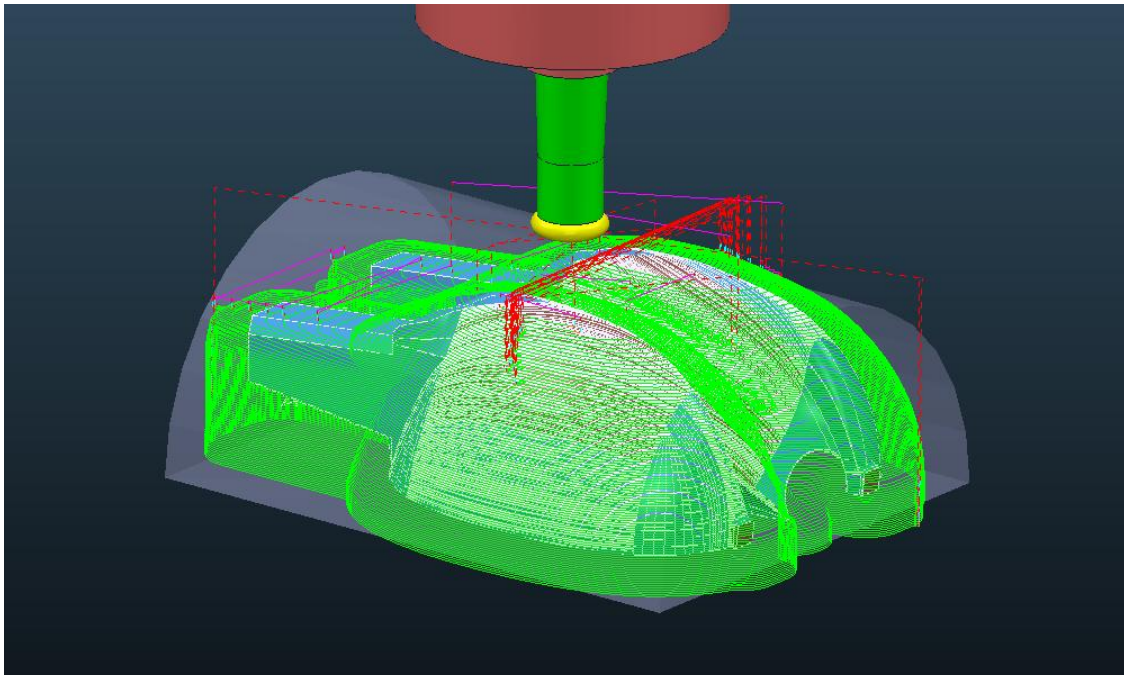


Abb.6.9)

Das dritte Werkzeug hat einen Durchmesser von 25 mm und montiert 3 Wendeplatten.

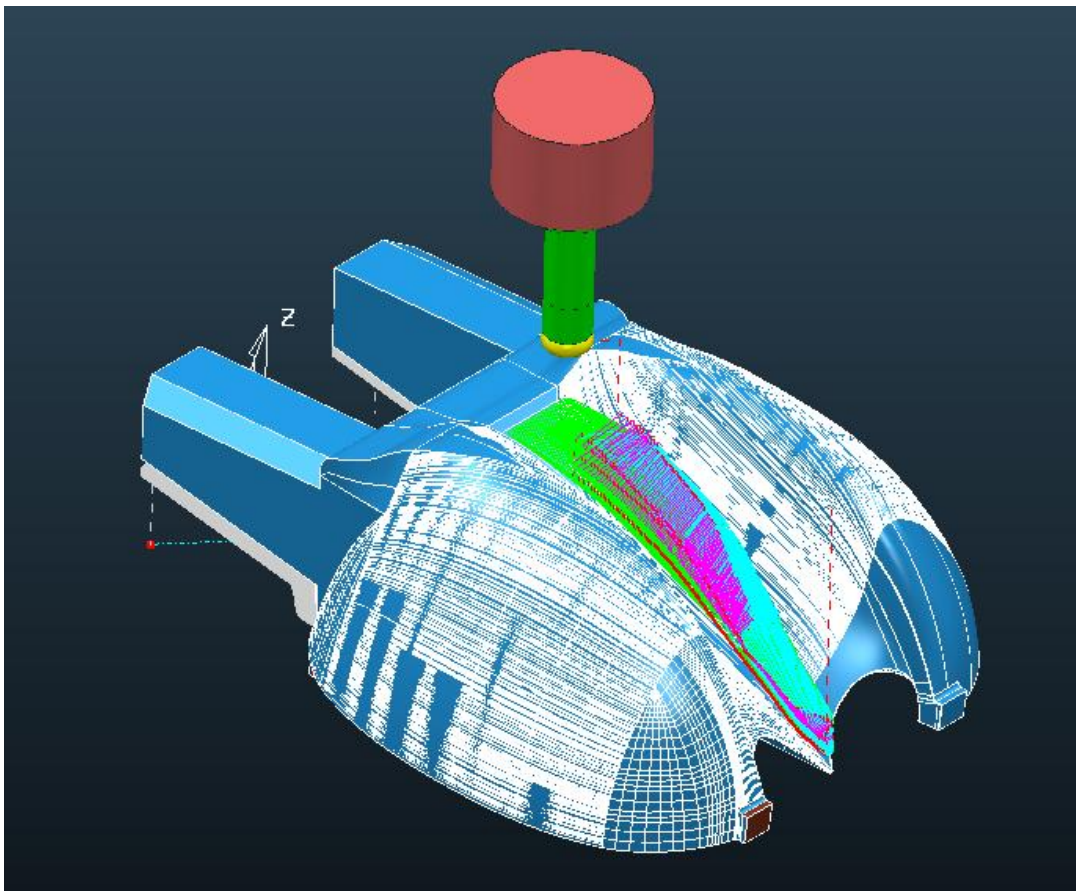


Abb.6.10)

Auch diese haben einen Durchmesser von 10mm.

Als viertes und letztes Werkzeug kommt ein Fräser mit halbrunden Wendeplatten zum Einsatz. Der Durchmesser ist 16mm und hat einen Vollhartmetallschaft, um die Vibrationen besser auffangen zu können.



Abb.6.11)

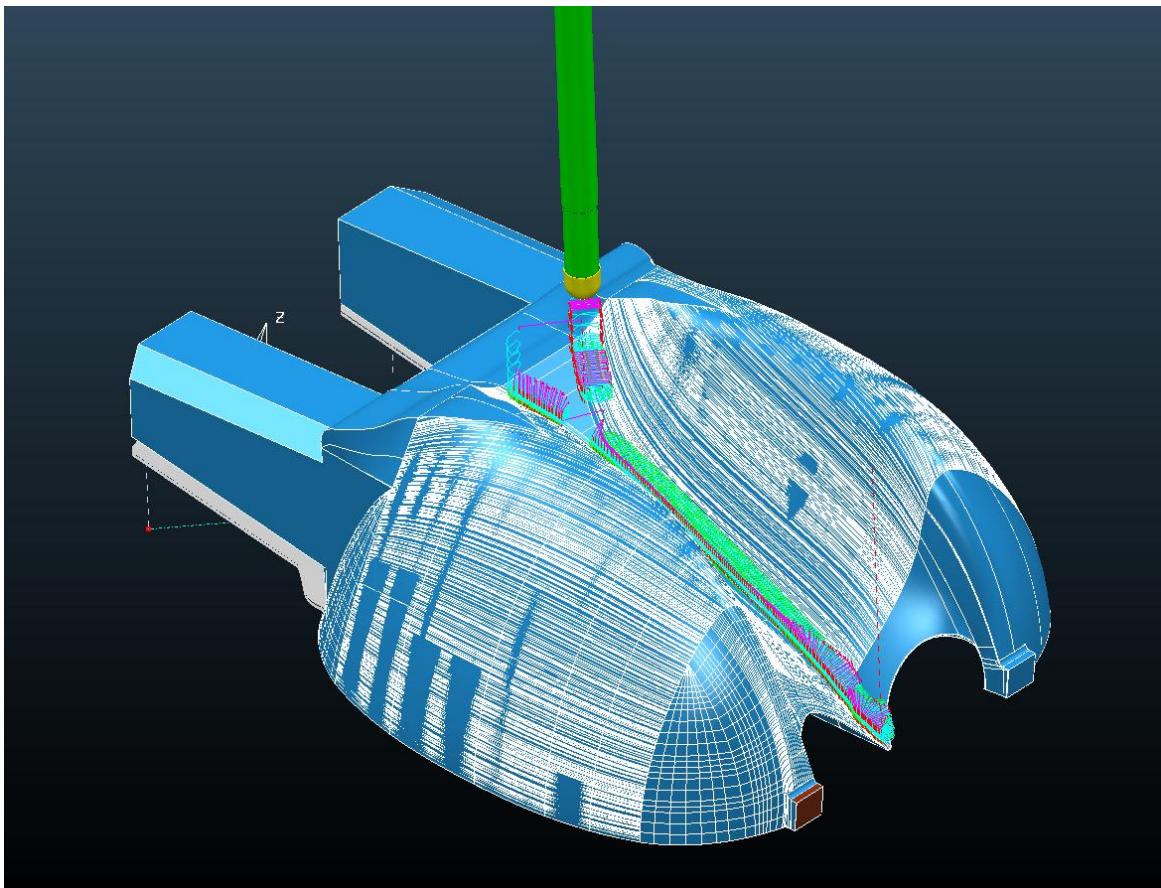


Abb.6.12)

Die einzelnen Schaufeln werden in drei Aufspannungen gefräst.

Für die erste Seite der zu fräsenden Schaufel benötigen wir 8h.

In den 8h sind enthalten:

- die geteilte Welle in Längsrichtung auf die Vorrichtung aufspannen
- das fertige Teil entnehmen und entgraten
- Wendeplatten wechseln

Das Teil wird dann entgratet, sobald die Maschine wieder am Laufen ist.

Das Problem mit dem Wechseln der Wendeplatten wollten wir lösen, indem Zwillingswerkzeuge eingesetzt wurden, d.h. zwei identisch gleiche Werkzeuge (Halter, Schaft, Messerkopf, Wendeplatten). Sobald die Wendeplatten nach dem Ablauf der Standzeit verschlissen waren, sollte automatisch das nächste Werkzeug zum Einsatz kommen. Somit wollten wir erreichen, dass die Werkzeugmaschine nie still steht, auch nicht beim Wechseln der Wendeplatten. Leider war dies nicht möglich, da die Steuerung der Werkzeugmaschine dies nicht unterstützte. Die Steuerung ist eine Fanuc-Steuerung. Somit verloren wir viel Zeit beim Wechseln der Wendeplatten. Die Fanuc-Steuerung ist meiner Meinung nach eine gute Steuerung. Sie ist schnell und für harten Industrieinsatz konzipiert. Außerdem ist sie in ihrer Anschaffung kostengünstiger. Die Fanuc-Steuerung hat aber auch einige Nachteile gegenüber anderen Steuerung, wie zum Beispiel einer Heidenhain-Steuerung. Die Heidenhain-Steuerung arbeitet wie ein Industrie PC. Sie hat eine Festplatte eingebaut und kann große Datenmengen speichern. Zudem kann man bei einer Heidenhain-Steuerung nach einen Werkzeugwechsel oder Wendeplattenwechsel an die letzte Stelle des Programmes wieder anfahren und verliert somit wenig wertvolle Zeit.

Beim Zerspanen der ersten Seite mussten wir 4-5-mal die Wendeplatten wechseln. Dadurch ergibt sich ein Zeitaufwand von $4 \cdot 3 \text{ min} = 12 \text{ min}$.

Im Durchschnitt haben wir beim Wechseln der Wendeplatten beim Bearbeiten der ersten Seite ca. 15 min an Zeit verloren.

Beim zweiten Aufspannen der Schaufel haben wir dann den Stiel der Schaufel fertig gefräst, wo wir beim ersten Aufspannen aus technischen Gründen nicht fertigbearbeiten konnten. Die Aufspan- und Bearbeitungszeit für den Stiel betrug ca. 1h , dass entspricht den Kosten von € 50,00 da bei den kurzen Bearbeitungszeiten nicht mannlos bearbeitet werden kann.

Der dritte und letzte Schritt ist das Fräsen der Schaufel, in der das Wasser hineinströmt. Die Schaufel wird nicht bis zur besten Oberflächengüte gefräst, denn es würde zu viel Zeit in Anspruch nehmen. Der Becher wird dann noch eigens nachgeschliffen, da es schneller und kostengünstiger ist.

Beim Nachschleifen von Hand ist viel Erfahrung von Nöten um eine gute Oberflächenbeschaffenheit, den nötigen Wirkungsgrad zu der Schaufel und auch insgesamt der Turbine zu erreichen.

Die Schaufel besteht aus Rostfreiem Stahl Ø 300mm und ist 350 mm lang. Durchmesser der Welle 300mm und 350 mm lang. Aus dieser Welle werden 2 Schaufeln gefräst.

$$V = \pi * r^2 * h = 1,50^2 dm * \pi * 3,5 dm = 24,7 dm^3 \text{ für 2 Schaufel}$$

$$m = V * \rho = 24,7 dm^3 * \frac{7,8 kg}{dm^3} = 193,06 kg$$

Materialpreis Rostfreier Stahl (Inox 303) = € 5,50/kg

Preis pro Schaufel: $96,33 kg * € 5,50/kg = € 529,80 \sim € 530,00$

Zu diesem Schaufelpreis kommen noch € 160,00 für Schnitt hinzu.

In diesen € 160,00 für Schnitt sind 2 Schnitte enthalten. Einmal der erste Schnitt in Querrichtung der Welle und der 2. Schnitt in Längsrichtung.

Der Laufradträger besteht aus rostfreiem Stahl (INOX 303).

Der Durchmesser des Laufradträgers beträgt 600 mm und ist 200 stark.

$$V = \pi * r^2 * h = 3^2 dm * \pi * 2 dm = 56,52 dm^3$$

$$m = V * \rho = 56,52 dm^3 * \frac{7,8 kg}{dm^3} = 441 kg$$

Preis des Laufradträgers = $441\text{kg} \cdot €7,50/\text{kg} = € 3.307,00$

Der Preis dieser 2 Laufräder betrug 6.614€ + ca. 350 € für den Transport.

Also 6.964,00 € für beide Laufräder.

Der Kilopreis bei diesem Durchmesser variiert von $\sim € 4,00$ bis $€ 9,00$ pro Kilogramm.

Ein großes Problem bei der Herstellung eines Laufrades der Pelton-turbine ist nicht nur die Bearbeitung der Schaufel und des Laufrades sondern auch die Beschaffung des Materials. Wie schon beschrieben wurden 10 Anlagen realisiert die leicht in ihrer Größe und Schaufelanzahl und Abmessungen variierten. Es wurden immer 1 Turbinenpaar zusammen fertiggestellt und geliefert. Aus diesem Grund wurde immer das Rohmaterial für 2 Turbinen gekauft. Teilweise musste die Firma AC-Tech Material kaufen, das bis zu 300mm im Durchmesser größer oder 150mm breiter war. Das richtige Material war nicht lagernd oder konnte erst in 3 bis 4 Monaten geliefert werden. Bei unserem 2 Turbinentypen konnte die Firma AC-Tech nur ein geschmiedetes Material einkaufen, denn ein anderes Material war zu diesem Zeitpunkt nicht erhältlich. Diese Methode Material einzukaufen war nicht immer die Beste, weil man nehmen musste was gerade hinsichtlich Preise und Abmessungen lagernd war.

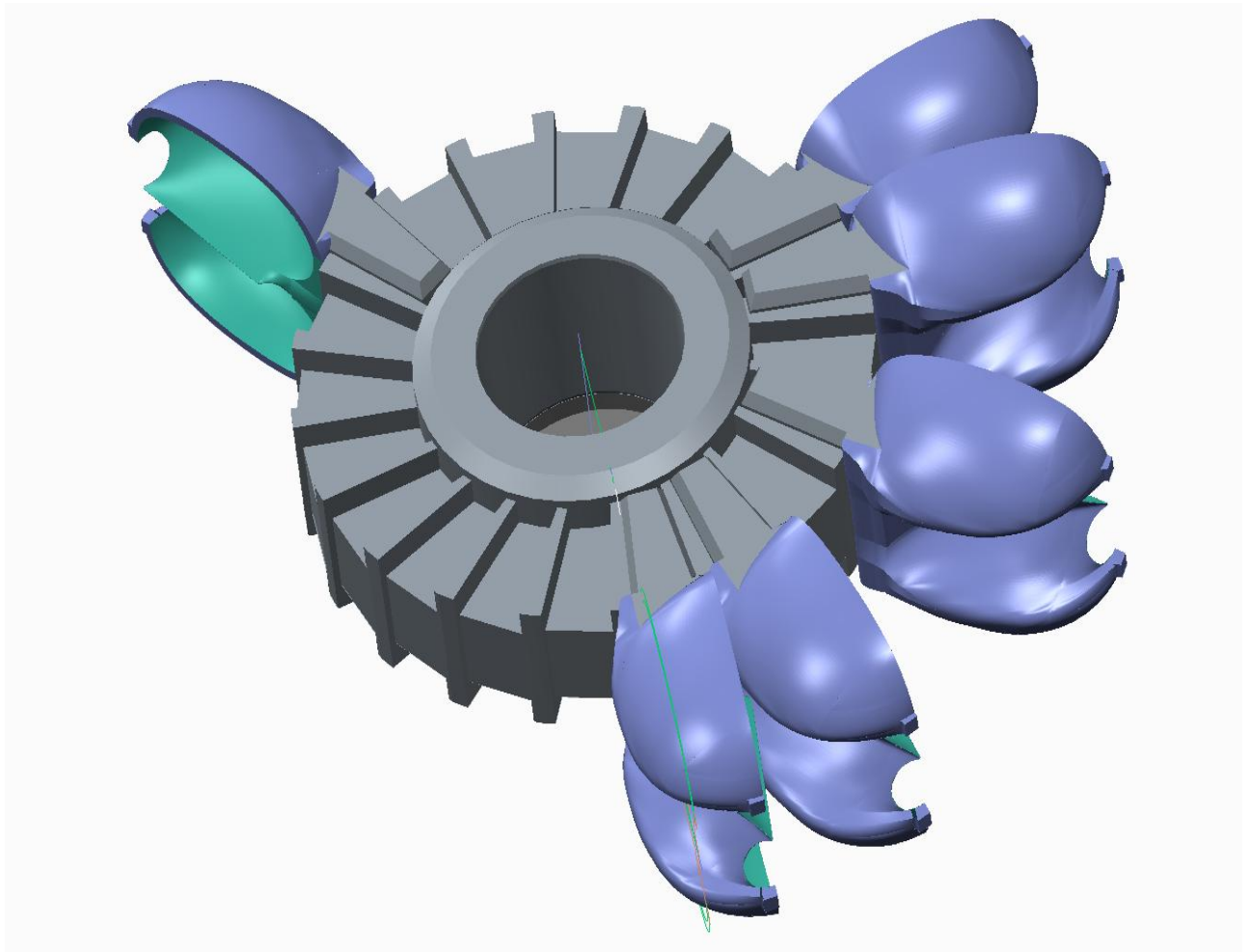
Die bessere Methode wäre das ganze Material mit einer Bestellung zu bestellen, um einen besseren Preis zu erzielen. Dies war aber nicht möglich, denn alle Lieferanten wollten kein Risiko eingehen und den vollen Betrag im Voraus kassieren.



Abb.6.13)

Die Fertigung der Laufräder aus geschmiedetem rostfreien Stahl war alles anderes als ein einfaches Unterfangen. Die harte Randschicht brachte uns fast zur Verzweiflung. Die Wendeplatten waren beim Überdrehen des Laufrades sofort verschließen oder brachen aus. Die Fräsbearbeitung am Laufrad war auch sehr intensiv. Es mussten 21 Fenster an der Ober- und Unterseite des Laufrades gefräst werden, um die Schaufeln passgenau einführen zu können. Anschließend wurden die Schaufeln dann noch Verstiftet und Verschweißt. Die Bearbeitungszeiten für den Laufradträger ohne Schaufeln betrugen 12h für das Drehen. Das entspricht einen Preis von € 600,00; $12h \cdot €50,00/h = € 600,00$. Die Fräsarbeiten schlugen mit € 3.410,00 zu Buche. $62h \cdot €55,00/h = € 3.410,00$.

Abb.6.14)



Anschließend wurden die Schaufeln auf den Laufradträger montiert und verschweißt. Bei der Montage gab es erhebliche Probleme, denn die Toleranz war zu klein und man hatte große Probleme die Schaufeln zu montieren. Teilweise mussten einige Schaufeln nachgeschliffen werden um sie montieren zu können.

Bei den Montagearbeiten und anschließenden Schweißarbeiten wurden 3 Tage in Anspruch genommen, also 24h zu einen Stundensatz von € 40,00/pro Stunde. Das wiederum entspricht den Kosten von € 960,00. $24h * €40,00/h = € 960,00$. Das Schweißzubehör und der Schweißdraht kosteten ca. € 1.500,00 pro Laufrad.

Die Schaufeln wurden wie vorher schon erwähnt im Innenbereich nicht vollständig fertiggefräst, da es zu viel Zeit in Anspruch genommen hätte und die Kosten explodiert wären. Deshalb wurden die Schaufeln anschließend im Innenbereich geschliffen. Auch diese Arbeit nahm 3 Tage in Anspruch. $24h * €40,00/h = € 960,00$.

Abb.6.15)



Anschließend wurde das Laufrad auf Schweißfehler untersucht.

Die letzten Arbeiten am Laufrad waren die Testmontage und das Auswuchten des Laufrades. Diese Kosten beliefen sich auf ca. € 840,00 pro Laufrad.

Die Spannhülse die zum Festklemmen des Laufrades am Wellengenerator dient, kostet € 350,00.

6.4 Detaillierte Kostenaufstellung des Laufrades

- € 11.130,00 für 21 Stück Schaufeln (Materialkosten € 530,00 pro Schaufel)
- € 9.450,00 für 21 Schaufeln fräsen(€ 570,00 pro Schaufel; Preis mit Ac-Tech ausgemacht € 450,00)
- € 1.680,00 für 2 mal die Welle schneiden (21 Schnitte ; € 80,00 pro Schnitt)
- € 3.482,00 für Materialkosten Laufrad
- € 600,00 für Drehen Laufrad
- € 3.410,00 für Fräsen Laufrad
- € 960,00 für Montage der Schaufeln und Schweißen
- € 1.500,00 für Schweißmaterial
- € 960,00 für Schleifen Innenbereich der Schaufel
- € 840,00 für Testmontage und auswuchten des Laufrades
- € 500,00 für Bügel für die Montage des Laufrades
- € 350,00 für Spannhülse
- **€ 34.862,00 Totale**

6.5 Flansch zur Abdeckung des Laufrades

Der Flansch dient zur Abdeckung des Laufradträgers und zur Abdichtung vor Wasser, das zwischen der Welle und dem Spannkonus.

Der Flansch besteht aus S355JR. Die Abmessungen des Flansches sind Ø370 *38mm breit.

Materialkosten : Rohmaße Ø 290*35mm lang

$$V = \pi * r^2 * h = 0,95^2 \text{dm} * \pi * 0,35 \text{ dm} = 0,991 \text{ dm}^3$$

$$m = V * \rho = 0,991 \text{dm}^3 * \frac{7,8 \text{kg}}{\text{dm}^3} = 7,736 \text{ kg}$$

Der Kilopreis für das Material mit einem Durchmesser von 270 mm beträgt € 1,10/kg.

Materialpreis: 7.736kg*€1,10/kg = € 8,51 ~ € 8,5.

Der Zeitaufwand zum Fertigen des Flansches beträgt 4h. Die Fräsarbeit, also das Fertigen der Bohrungen und das Freifräsen der 20mm und 11mm tiefen Tasche beträgt 3h. Auch die Nut für den O-Ring die zur Abdichtung des Wassers dient haben wir auf der Fräse gefertigt. Eine Tasche mit diesen Abmessungen ist einfacher und schneller auf der Fräsmaschine herzustellen denn es braucht keine Axialen Einstechdrehmeisel die immer nur in einem bestimmten Durchmesserbereich arbeiten. Auch die Spanbildung ist nicht so günstig denn es entstehen lange Späne. Bei einer größeren Zahl von Flanschen wäre es dann aber wieder sinnvoller alles auf der Drehbank zu fertigen. Bei eigenen Probieren könnte man mit Sicherheit erreichen, dass die Späne brechen. Aber wie schon vorher erwähnt zahlt sich der Aufwand des Probierens bei zwei Teilen nicht aus.

Der zeitliche Aufwand zum Drehen dieses Teiles ist ca. 1h. Das Bauteil ist nicht sehr anspruchsvoll, da keine genauen Längentoleranzen gefordert sind. Es sind keine Form und Lagetoleranzen notwendig.

Fertigungskosten=4h*€55,00/h = € 220,00

Gesamtkosten des Flansches = € 220,00 + € 8,5 € = € **228,50**

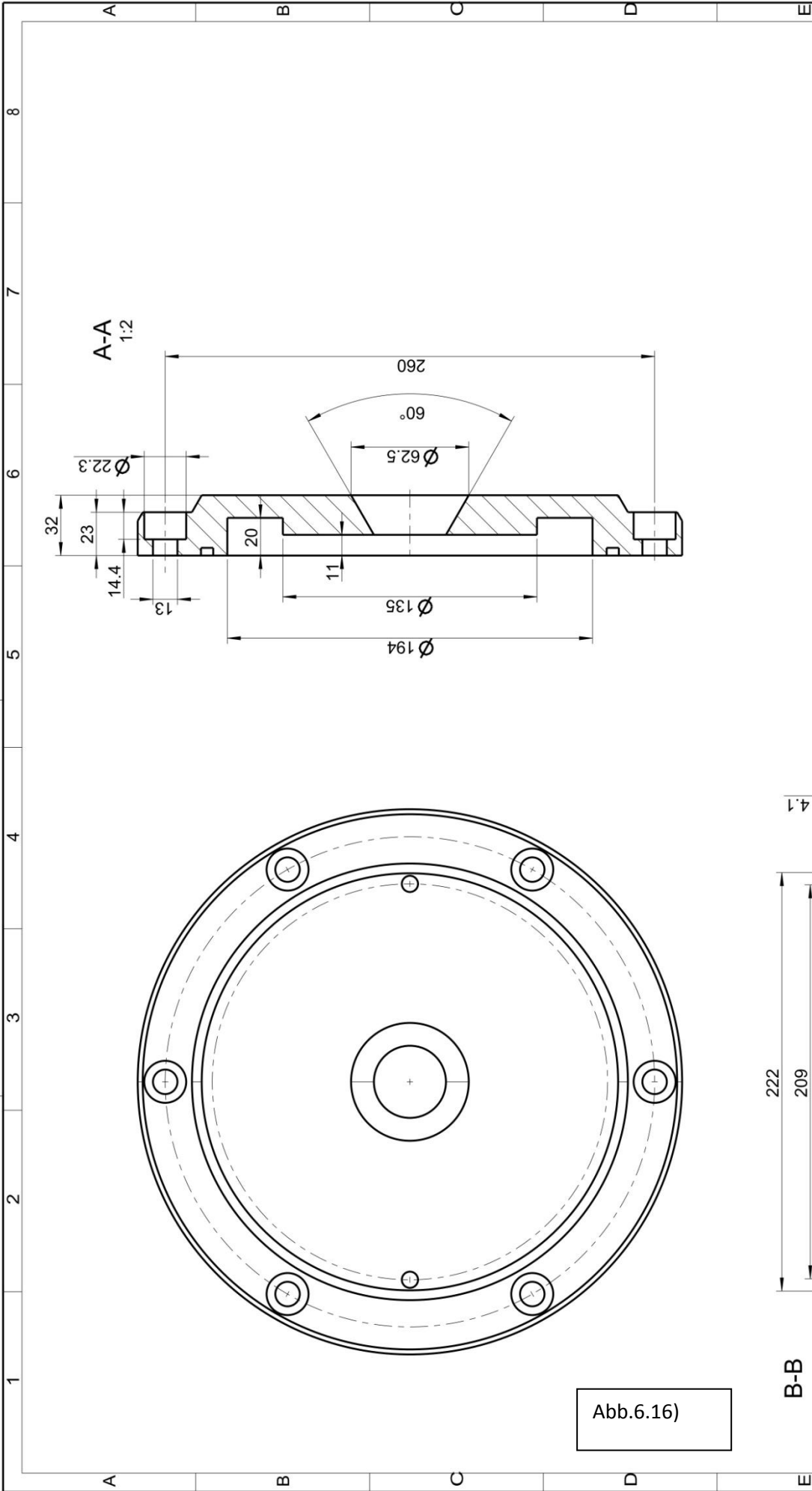
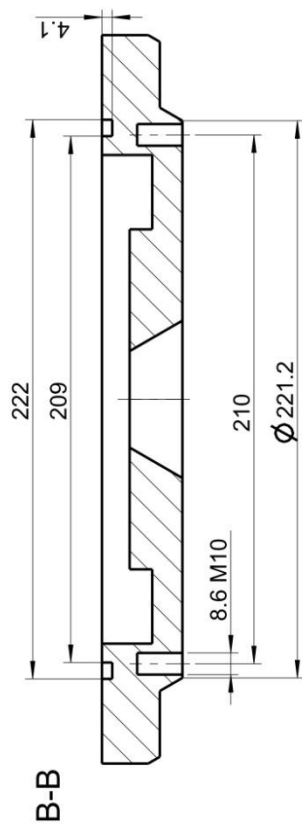


Abb.6.16)



6.6 Injektoreinheit

Das Düsenpaket habe ich wie folgt aus mehreren Einzelteilen einer Düse zusammengefasst.

Das Injektorpaket beinhaltet :

- Düse (mit oder ohne Verschleißfesten Düsenmund)
- Düsennadel (Düsenbirne mit verschraubter Welle)
- Düsenstock mit Bronzeführung
- Flansch für Aufnahme an das Turbinengehäuse
- Stabilisierungskreuz zur besseren Führung der Düsennadel
- Rohrverbindung für Wasserzuleitung
- Flansch für die Befestigung der Düse
- Mantel Düsenstock

Diagram illustrating the components of a spray gun assembly, labeled in German:

- Zwischenstück
- Anteil Düsenstock
- Scheibe
- Düsenstockabdichtung
- Düsenstock
- Düsennadel
- Stabilisierungskreuz
- Flansch
- Flansch
- Düse
- Düsenrohr
- Düsenbirne

Abb.6.17)

Abb.6.17)

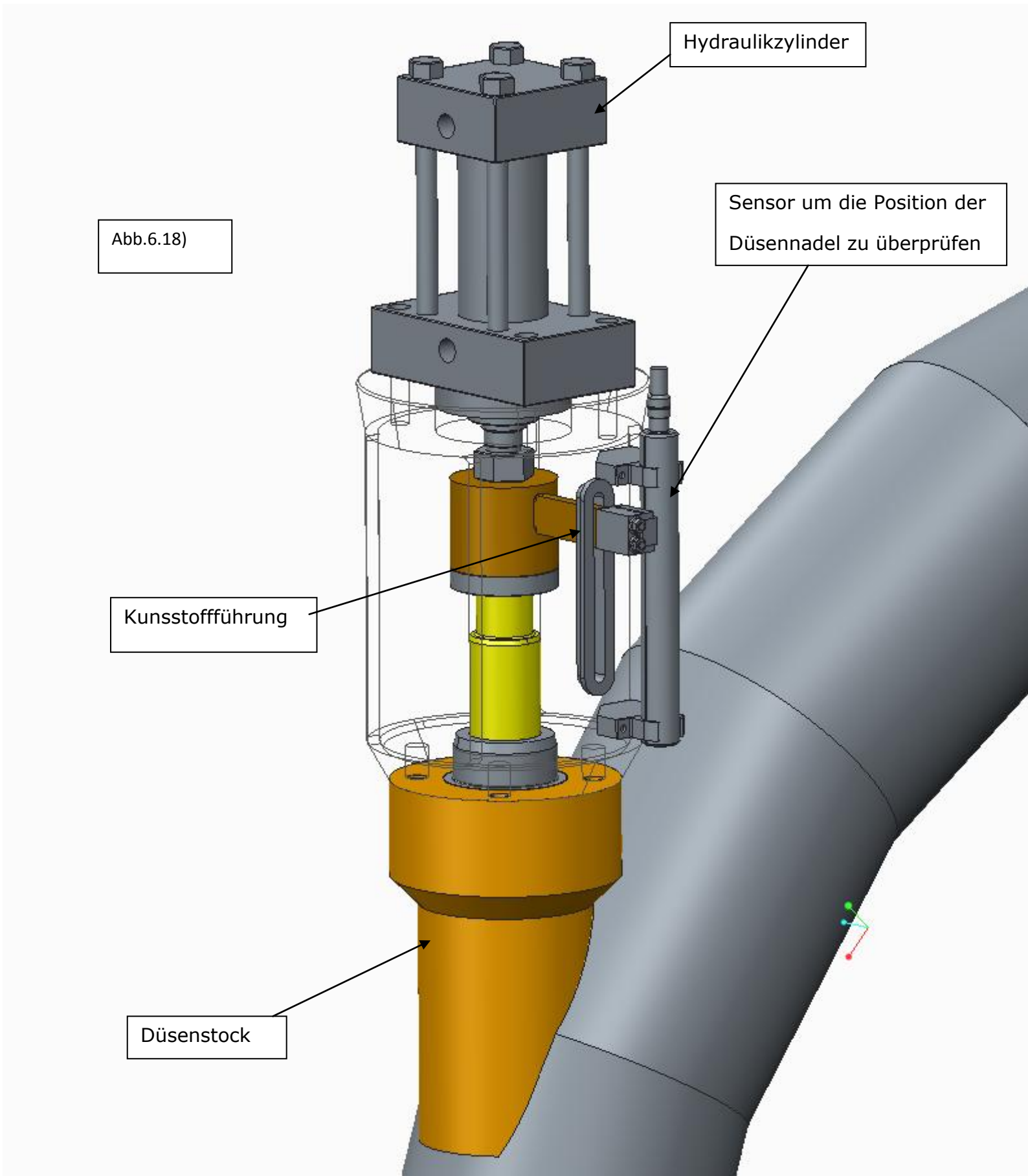
Abb.6.18)

Kunststoffführung

Düsenstock

Hydraulikzylinder

Sensor um die Position der
Düsennadel zu überprüfen



6.6.1 Düse

Die Düse besteht aus X5CrNi18-10 (Werkstoffnummer 1.4301 Aisi 304). Die Abmessungen der Düse sind Ø370*198 mm lang. Auch bei dem Düsenmaterial mussten wir auf die Abmessungen zurückgreifen welche wir am schnellsten und einfachsten im Handel erhielten.

Der Durchmesser denn wir erhielten war Ø 400mm *200

$$V = \pi * r^2 * h = 2^2 dm * \pi * 2 dm = 25.12 dm^3$$

$$m = V * \rho = 25.12 dm^3 * \frac{7.8 kg}{dm^3} = 196 kg$$

Materialpreis der Düse = 196kg*€5/kg = € 882,00 +€ 30,00 Transport = € 912,00.

Gefertigt wurden die Düsen auf eine CNC gesteuerten Maschinen der Marke Doosan Puma 300L.



Abb.6.19)

Die Maschine ist eigentlich nur für einen Durchmesser von bis 340 mm geeignet, aber wir haben selbstgefertigte Spannbacken mit denen wir bis Ø400 mm Teile spannen und auch drehen können. Der zeitliche Aufwand beim Drehen und Fräsen der Düse betrugen jeweils 7 Arbeitsstunden.

Den Maschinenstundensatz für unsere CNC Drehbank der Marke Doosan Puma 300L haben wir mit € 55,00 errechnet. Der Maschinenstundensatz der Fräsmaschine wurde auch mit € 55,00/h errechnet. Daraus ergibt sich also 7h für die Dreh und Fräsbearbeitung zu einem Stundensatz von € 55,00/h = € 770,00

Eine Düse kostet somit € 770,00 + € 912,00 = € **1.682,00**

6.6.2 Nadel

Die Nadelbirne besteht aus Aisi 420 X20Cr13 Werkstoffnummer 1.4021. Das Rohmaterial der Nadelbirne ist Ø110*300mm lang.

$$V = \pi * r^2 * h = 0.55^2 \text{dm} * \pi * 3 \text{dm} = 2.849 \text{dm}^3$$

$$m = V * \rho = 2.849 \text{dm}^3 * \frac{7.8 \text{kg}}{\text{dm}^3} = 22.22 \text{kg}$$

Materialpreis der Nadelbirne = 22.2kg * €8,00/kg = € 177,80 ~ € 178,00

Die Nadelbirne wurde in einem Stundenaufwand vom 3 h gefertigt.

Man muss bedenken, dass wir immer 4 oder 6 Düsennadeln gleichzeitig fertigen konnten, weil immer 2 komplette Pelton-turbinen gefertigt wurden.

3 h * €55,00/h = € 192,50 für die Nadelbirne + Material ~ € **370,00**

Die Materialabmessungen der Nadel sind Ø 60*1171mm. Das Material das wir hierbei verwendeten ist ein anderer rostfreier Stahl, damit sich die beiden Materialien nicht verfressen können.

Das Material ist ein Aisi 304 (X5CrNi18-10). Der Durchmesser des Material ist 60mm und die Länge ist 1171 mm.

$$V = \pi * r^2 * h = 0.3^2 \text{dm} * \pi * 11.71 \text{dm} = 3,3 \text{dm}^3$$

$$m = V * \rho = 3,3 \text{dm}^3 * \frac{7.8 \text{kg}}{\text{dm}^3} = 26.14 \text{kg}$$

Der Materialpreis bei einem Durchmesser von 60 mm (Aisi 304) liegt bei € 4,50/kg.

Materialpreis = 26.14kg * €4,50€/kg = € 117,63

Der Zeitaufwand zum Fertigen der Nadel lag bei 4h. Die Fertigungskosten der Nadel liegen bei

6h * €55,00/h = € 330,00

Fertigungskosten + Materialkosten = ~ € **448,00**



Abb.6.21)

6.6.3 Düsenstockabdichtung

Die Düsenstockabdichtung dient zur Abdichtung des Wassers und gleichzeitig zur Führung der Nadel. Bei der Düsenabdichtung wurde ein Messing verwendet. Die Materialabmessungen des Rohmessing liegen bei Ø100*55mm lang.

Materialkosten :Dichte von Messing (8.5kg/dm³)

$$V = \pi * r^2 * h = 0.05^2 \text{ dm} * \pi * 0.55 \text{ dm} = 0.43 \text{ dm}^3$$

$$m = V * \rho = 0.43 \text{ dm}^3 * \frac{8.5 \text{ kg}}{\text{dm}^3} = 3.655 \text{ kg} \quad \text{Materialkosten} = 3.655 \text{ kg} * €8,00/\text{kg} \sim €29,00$$

Der zeitliche Aufwand beträgt ca. 2h .Daraus folgt 2h*€55,00/h=€110,00

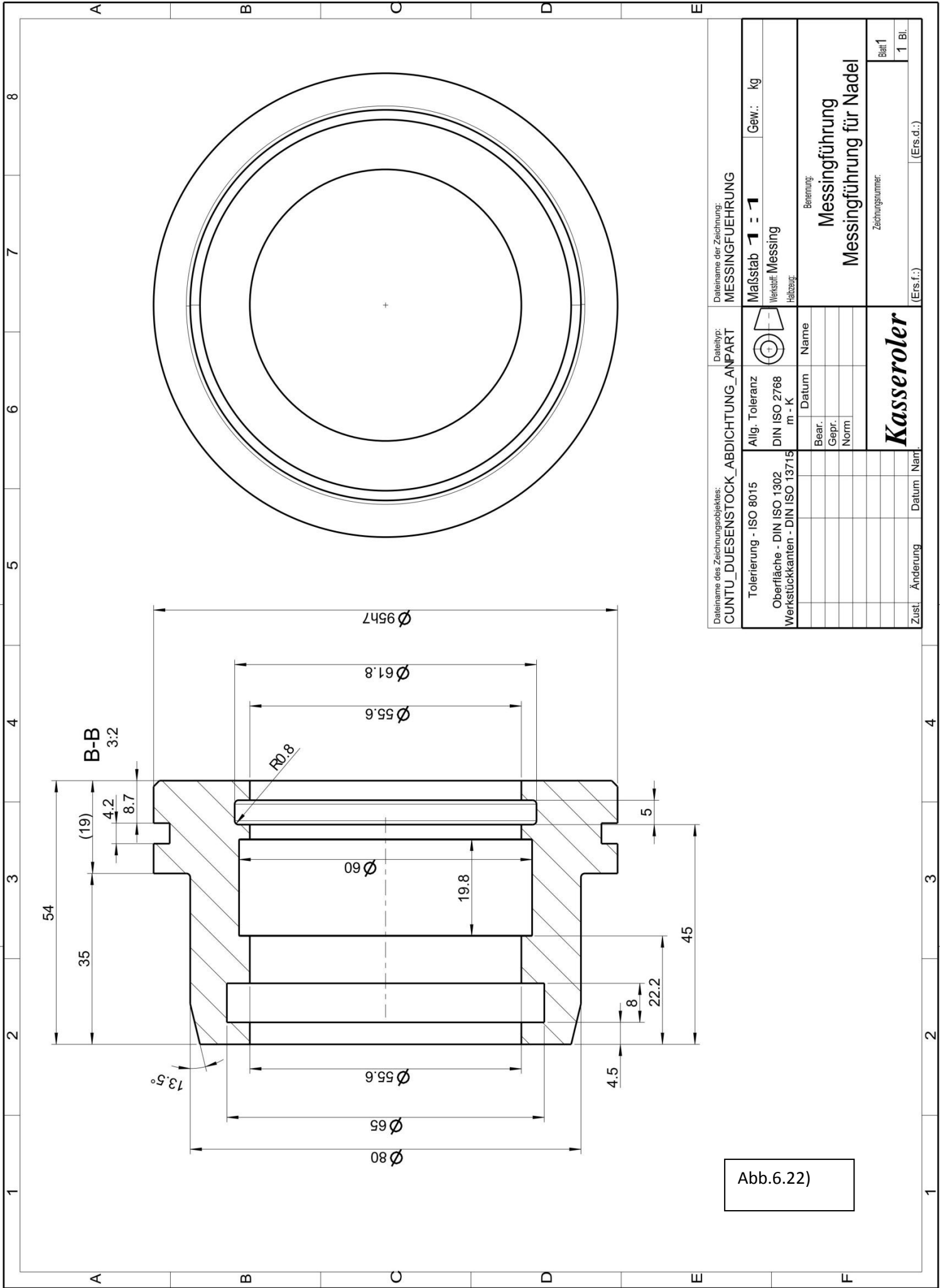


Abb.6.22)

Dateiname des Zeichnungsobjektes: CUNTU_DUESENSTOCK_ABDICHTUNG_ANPART		Dateityp: MESSINGFUEHRUNG	Dateiname der Zeichnung: MESSINGFUEHRUNG	
Tolerierung - ISO 8015		Allg. Toleranz	Maßstab 1 : 1	Gew.: kg
Oberfläche - DIN ISO 1302		DIN ISO 2768	Werkstoff: Messing	
Werkstückanten - DIN ISO 13715		m - K	Halbzeug	
Bear.		Datum	Benennung:	
Gepr.			Messingführung	
Norm			Messingführung für Nadel	
Zust.		Änderung	Zeichnungsnummer:	
Datum			(Ers.f.):	
Name			(Ers.d.):	
			Blatt 1	
			1 Bl.	

Kasserler

6.6.4 Rohrflansch1

Der Flansch dient zum Befestigen des Düsenstockes an das Turbinengehäuse. Der Flansch wird an allen Seiten fertiggedreht, nur an einer Seite wo der Flansch später an das Turbinengehäuse angeschraubt wird, muss Material aufmaß gelassen werden um ihn nach dem Schweißen fertigbearbeiten zu können. Der gesamte Düsenstock wird nach dem Schweißen fertiggefräst, um alle Form und Lagertoleranzen garantieren zu können. Die Form und Lagertoleranzen sind sehr wichtig um eine genaue Richtung des Wasserstrahles und somit einen guten Wirkungsgrad der Turbine garantieren zu können. Dieser Flansch wurde aus allgemeinen Baustahl gefertigt (S355JR oder 1.0037). Beim Kauf von Scheiben mit Ø 500 muss man teilweise abwägen ob es günstiger ist wenn man die Scheibe mit einem Brennschneider schneiden lässt oder von einer Welle mit Ø 500. In unserem Fall war es günstiger mit dem Brennschneider diesen Flansch zu bestellen. Der Durchmesser des fertigen Flansches ist 505 mm. Da im Handel kein Wellendurchmesser mit 510 mm erhältlich ist muss man auf den nächst größeren von 520 mm greifen.

$$V = \pi * r^2 * h = 2.6^2 \text{dm} * \pi * 0.4 \text{ dm} = 8.49 \text{ dm}^3$$

$$m = V * \rho = 8.49 \text{ dm}^3 * \frac{7.8 \text{ kg}}{\text{dm}^3} = 66.22 \text{ kg}$$

Materialpreis = 66.22 kg * €1,30/kg = €86,09 ~ €86,00 + €30,00 Schnitt = € 116,00

Der Materialpreis mit dem Brennschneider beträgt:

$$V = a^2 * h = 5.1^2 \text{dm} * 0.4 \text{ dm} = 10,44 \text{ dm}^3$$

$$m = V * \rho = 10,44 \text{ dm}^3 * \frac{7.8 \text{ kg}}{\text{dm}^3} = 81.15 \text{ kg}$$

Der Kilopreis des schon geschnitten Baustahles mit dem Brennschneider beträgt zu diesem Zeitpunkt € 1,20/kg.

Materialpreis : 81.15 kg * €1,20/kg = € 97,38

Der Vorteil beim Brennschneiden ist zudem noch, dass die innere Bohrung schon vorgeschritten werden kann und sich die Bearbeitungszeiten somit verkürzen. Das Bohren ins volle fällt somit gänzlich weg und auch das ausdrehen reduziert sich auf ein Minimum. Auch aus diesem Grund haben wir uns für das Material mit dem Brennschneider entschieden.

Die Bearbeitungszeiten für das Drehen betragen 3h und für das Bohren 1h auf einem unserer Bearbeitungszentrums.

Bearbeitungskosten = $4h * €55,00/h = € 220,00$

Gesamtkosten des Flansches = $€ 220,00 + € 97,00 = € \textbf{317,00}$

Auf die Transportkosten habe ich hier absichtlich verzichtet, weil wir mehrere Teile mit Brennschneiden haben fertigen lassen und somit ein Transport für alle organisiert wurde.

6.6.5 Düsenstock

Der Düsenstock dient zur Aufnahme der Messingabdichtung. Er besteht aus S355JR und hat die Abmessungen von Ø180 und 230mm Länge.

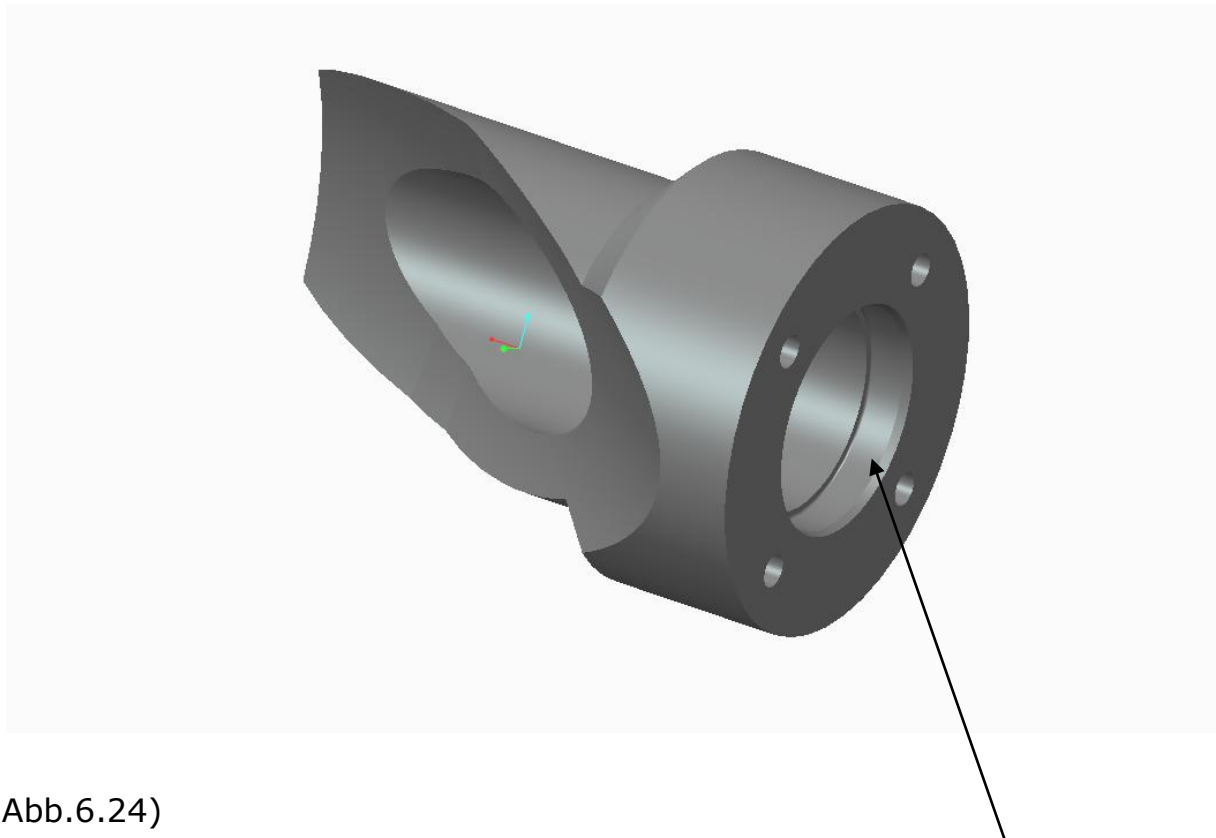


Abb.6.24)

Passung für Messingabdichtung

Materialkosten : Rohmaße Ø 190*230mm lang

$$V = \pi * r^2 * h = 0.95^2 \text{ dm} * \pi * 2.3 \text{ dm} = 6.51 \text{ dm}^3$$

$$m = V * \rho = 6.51 \text{ dm}^3 * \frac{7.8 \text{ kg}}{\text{dm}^3} = 50.83 \text{ kg}$$

Der Kilopreis für das Material mit einem Durchmesser von 190 mm beträgt € 1,10/kg.

Materialpreis: $50.83 \text{ kg} * € 1,10/\text{kg} = € 55,91 \sim € 56,00$. Der Zeitaufwand zum Fertigen des Düsenstockes, um den Düsenstock dann in das Rohr einschweißen zu können beträgt 4h. Fertigungskosten = $4 \text{ h} * € 55,00/\text{h} = € 220,00$. Gesamtkosten des Düsenstockes = $€ 220,00 + € 56,00 = € \underline{\underline{276,00}}$

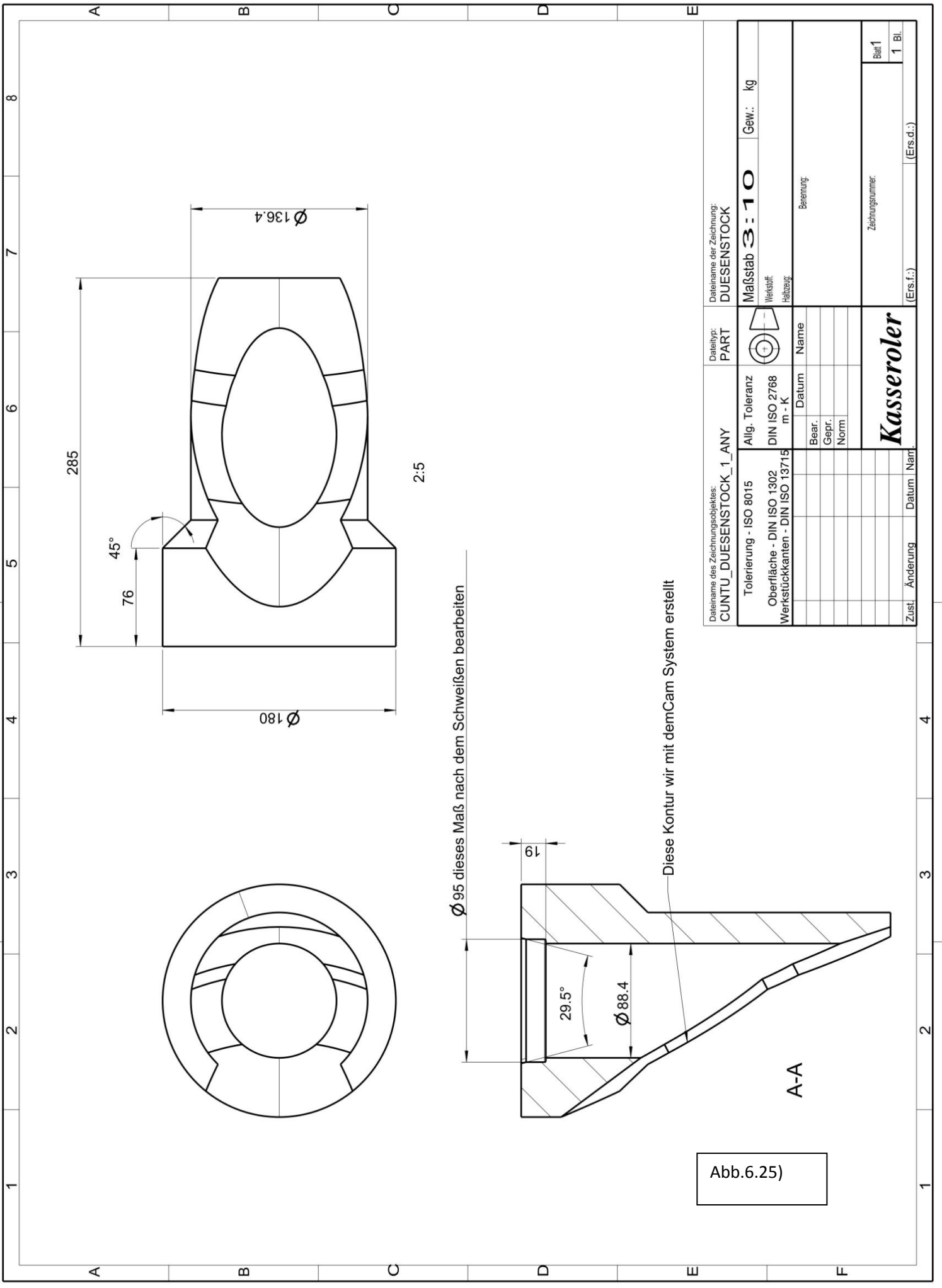


Abb.6.25)

Dateiname des Zeichnungsobjektes: CUNTU_DUESENSTOCK_1_ANY		Dateityp: PART	Dateiname der Zeichnung: DUESENSTOCK	
Tolerierung - ISO 8015	Allg. Toleranz			Maßstab 3 : 10
Oberfläche - DIN ISO 1302	DIN ISO 2768			
Werkstückkanten - DIN ISO 13715	m - K			
		Datum	Name	Gew.: kg
		Bear.		
		Gepr.		
		Norm		Berennung:
Zust.	Änderung	Datum	Name	Zeichnungsnummer:
Kasseroles				Blatt 1
(Ers.f.:)				1 Bl.
				(Ers.d.):

6.6.6 Rohrflansch1

Der Flansch wird am Rohr verschweißt und dient zum Anschrauben der Düse.

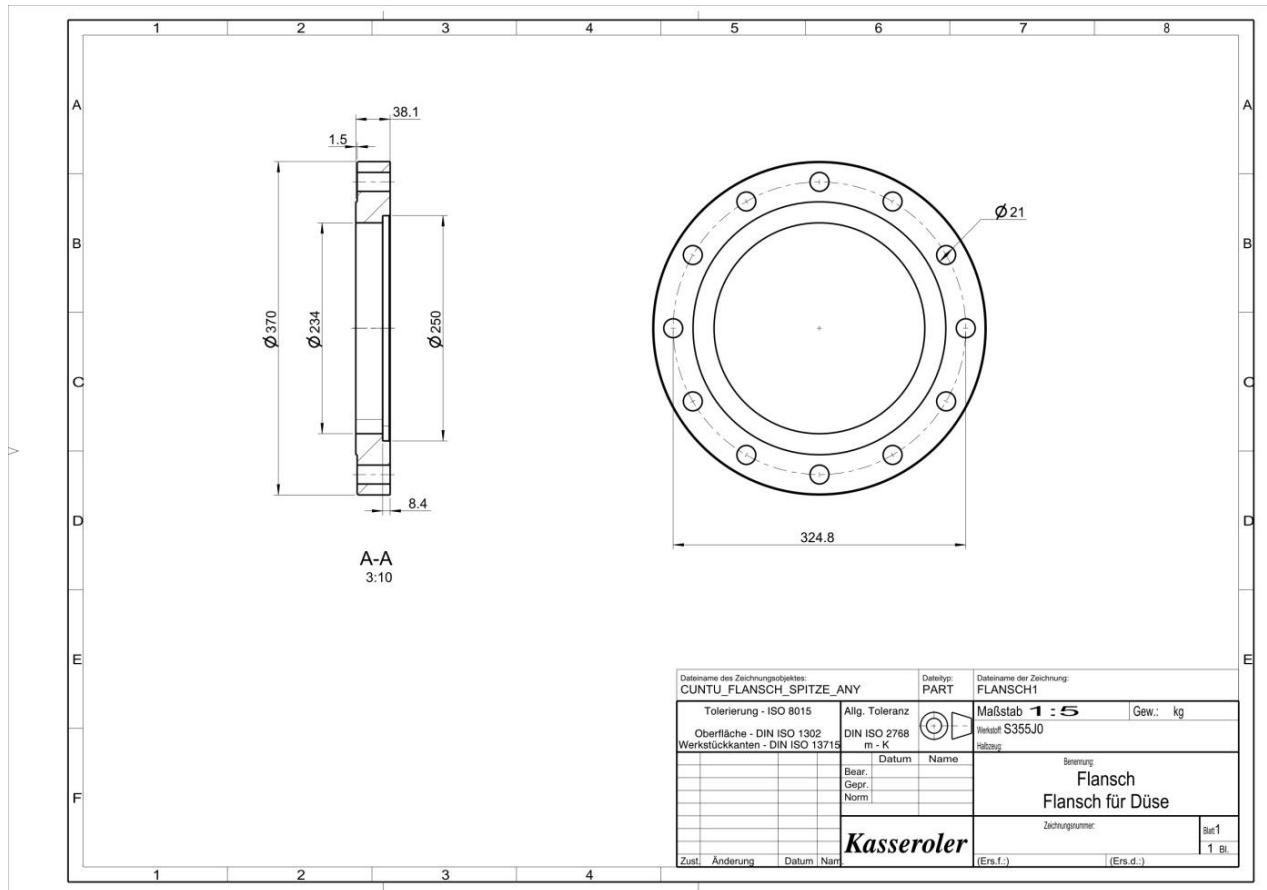


Abb.6.26)

Der Flansch besteht aus S355JR. Die Abmessungen des Flansches sind Ø370 *38mm breit.

Materialkosten : Rohmaße Ø 380*40mm lang

$$V = \pi * r^2 * h = 1,9^2 \text{ dm} * \pi * 0,4 \text{ dm} = 4.53 \text{ dm}^3$$

$$m = V * \rho = 4.53 dm^3 * \frac{7.8 kg}{dm^3} = 35.33 kg$$

Der Kilopreis für das Material mit einem Durchmesser von 380 mm beträgt € 1,20/kg.

Materialpreis: $35.33\text{kg} \cdot €1,20/\text{kg} = € 42,39 \sim € 43,00$. Der Zeitaufwand zum Fertigen des Flansches beträgt 3h. Die Fräsarbeit, also das Fertigen der Bohrungen beträgt 1h Fertigungskosten= $4\text{h} \cdot €55,00/\text{h} = € 220,00$
 Gesamtkosten des Flansches = $€ 220,00 + €43,00 = € \underline{\underline{263,00}}$

6.6.7 Stabilisierungskreuz

Das Stabilisierungskreuz dient zur Stabilisierung der Düsenadel.

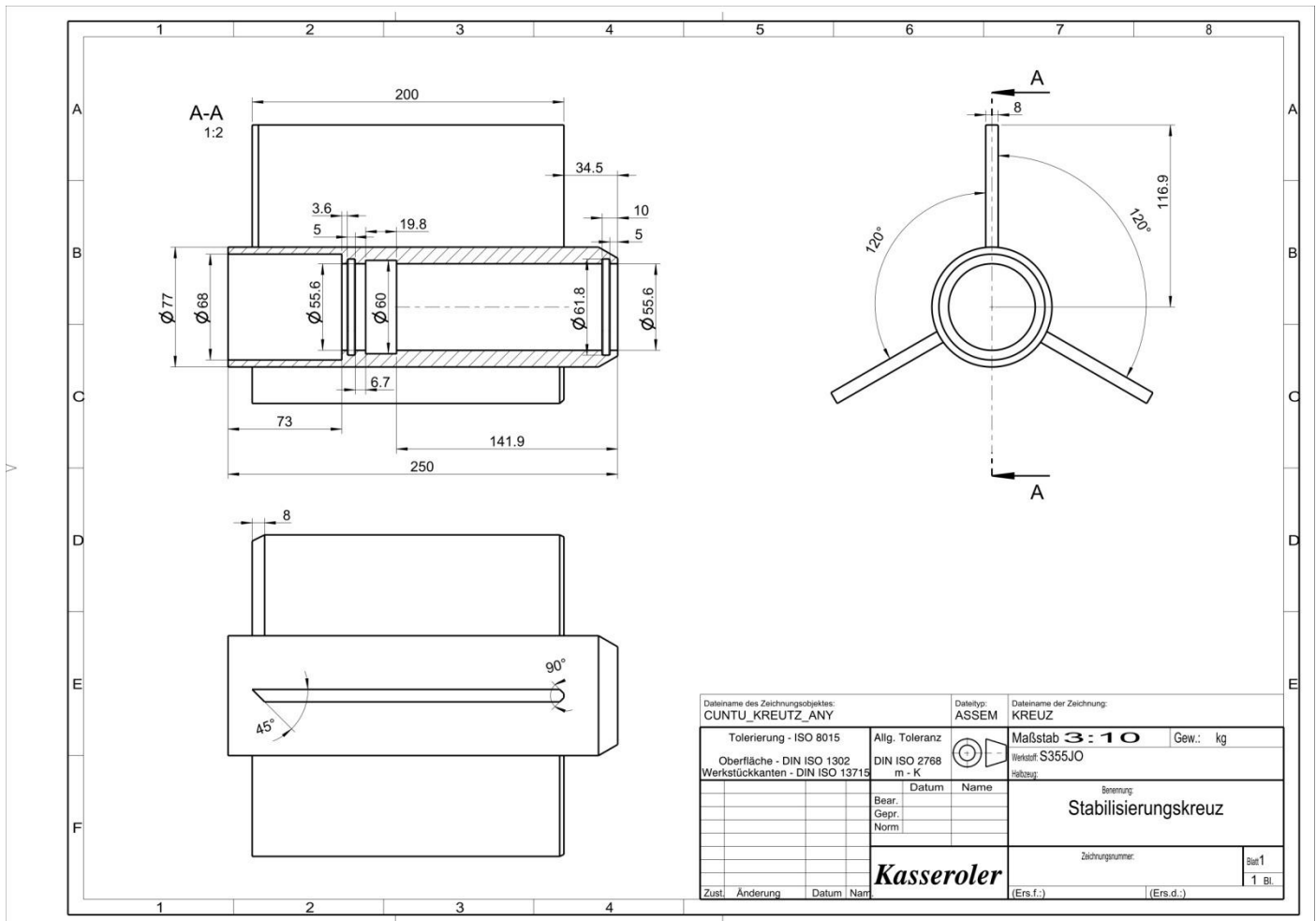


Abb.6.27)

Das Material das beim Stabilisierung Kreuz zum Einsatz kommt ist wie folgt:

- 1) Flacheisen S355J0; Materialabmessungen 80mm*200mm*8mm (3 Stück)
- 2) Rohr $\varnothing 80 \cdot 15\text{mm}$ Länge 250mm.

Materialkosten: Flacheisen $V=a*b*h=0.08*0.8*2=0.128 \text{ dm}^3$

$$m = V * \rho = 0.128 \text{ dm}^3 * \frac{7.8 \text{ kg}}{\text{dm}^3} = 0.9984 \text{ kg}$$

Der Kilopreis bei Flacheisen dieser Abmessungen beträgt € 0,80/kg.
Materialpreis = € 0,80€/kg*0.9984kg = € 0,79. Es werden 3 Teile verwendet. Daraus folgt € 0,79*3 St = € 2,39.

Materialpreis des Rohres :

$$V = \pi * r^2 * h = 0.4^2 \text{ dm} * \pi * 2.5 \text{ dm} - (0.25^2 \text{ dm} * \pi * 2.5 \text{ dm}) \\ = 1.256 \text{ dm}^3 - 0.49 \text{ dm}^3 = 0.766 \text{ dm}^3$$

$$m = V * \rho = 0.766 \text{ dm}^3 * \frac{7.8 \text{ kg}}{\text{dm}^3} = 5.97 \text{ kg}$$

Der Kilopreis bei einem Rohr diesen Durchmessers beträgt €1,90/kg .
Materialkosten=€1,90/kg*5.97kg = € 11,34

Die Materialkosten insgesamt für das Stabilisierungskreuz betragen € 13,73.

Die Gesamtstunden für die Fertigstellung des Stabilisierungskreuzes vor dem Einschweißen in das Düsenrohr beträgt 4 h. Darin enthalten sind, das Schneiden des Materials, das Abfräsen der Platten und nach dem anschweißen der Platten das Überdrehen der Kreuzes um eine genaue Zentrierung in das Düsenrohr zu garantieren. Bei diesen mehreren Arbeitsschritten wie Schweißen, Schneiden, Fräsen, Drehen, rechnen wir mit einen durchschnittlichen Stundensatz von € 40,00/h. Die Gesamtkosten für das Stabilisierungskreuz belaufen sich auf:

$$€ 40,00/\text{h} * 4 \text{ h} = € 160,00 \quad € 160,00 + € 13,00 = € \underline{\underline{173,00}}$$

6.6.8 Zwischenstück

Das Zwischenstück dient zur Befestigung von der Düsenadel mit dem Hydraulikzylinder. Zudem dient das Zwischenstück zur Befestigung des

Sensors um zu messen in welcher Position sich die Düsenadel befindet.
Das Zwischenstück wird aus Messing gefertigt.

Materialkosten :Dichte von Messing (8.5kg/dm³)

$$V = \pi * r^2 * h = 0.45^2 \text{dm} * \pi * 0.7 \text{ dm} = 0,445 \text{ dm}^3$$

$$m = V * \rho = 0.445 \text{dm}^3 * \frac{8.5 \text{kg}}{\text{dm}^3} = 3,78 \text{kg}$$

Materialkosten = 3.78kg*€8,00/kg ~ € 30,00.

Der zeitliche Aufwand beträgt ca. 3h. Daraus folgt 3h*€ 55,00/h = € 165,00

€ 165,00 + € 30,00 = € **195,00**

6.6.9. Mantel für Düsenstock

Der Mantel für Düsenstock dient als Zwischenstück für die Verbindung von Hydraulikzylinder und Düsenstock. Außerdem sind auch Fenster eingefräst, um das Zwischenstück in Messing besser montieren zu können. Gegenüber dem Montagefenster ist eine Nute eingefräst, um über einen Sensor die Position der Nadel bestimmen zu können. Der Mantel für den Düsenstock besteht aus 3 Teilen. Zum ersten aus 2 Flanschen und einem Rohr. Diese 3 Teile werden vor dem Schweißen vorgeschuppt und es werden einige Fasen angedreht um sie besser verschweißen zu können. Das Material das wir verwenden ist ein allgemeiner Baustahl. Die Abmessungen eines Flansches ist Ø230 *40mm breit. Der andere Flansch hat die Abmessungen von Ø220 *30mm breit. Das Rohr hat die Abmessungen von Ø 214*10 Wandstärke und eine Länge von 244mm

Materialkosten :

Rohmaße Ø 220*30mm lang

$$V = \pi * r^2 * h = 1.1^2 \text{dm} * \pi * 0,3 \text{ dm} = 1.13 \text{ dm}^3$$

$$m = V * \rho = 1.13 \text{dm}^3 * \frac{7.8 \text{kg}}{\text{dm}^3} = 8.89 \text{ kg}$$

Materialpreis=€1,20/kg

Materialkosten=€1,20/kg*8.89kg=€10,66+€5,00€ Materialschnitt= € 15,66

Rohmaße Ø 230*40mm lang

$$V = \pi * r^2 * h = 1.15^2 \text{dm} * \pi * 0,4 \text{ dm} = 1,66 \text{ dm}^3$$

$$m = V * \rho = 1.66 \text{dm}^3 * \frac{7.8 \text{kg}}{\text{dm}^3} = 12.95 \text{ kg}$$

Materialpreis=€1,20/kg

Materialkosten=€1,20/kg*12.95 kg=€15,54+Materialschnitt=€20,54

Rohrabmessungen Ø 214*10mm Wand 244 lang

$$V = \pi * r^2 * h = (1.15^2 dm * \pi * 2.44 dm) - (1.07^2 * \pi * 2.44 dm) = 1,36 dm^3$$

$$m = V * \rho = 1.36 dm^3 * \frac{7.8 kg}{dm^3} = 1.36 kg$$

Materialpreis=€2,10/kg

Materialkosten=€ 2,10/kg*12.95 kg=€27,20+€5,00 Materialschnitt=€ 32,20

Gesamtkosten für das verwendete Material = € 15,66 + € 20,54 + € 32,20 = **€68.40**

Die Schweißvorbereitung (drehen) beträgt 3h. Die Flanschen und das Rohr werden plangedreht und mit einer Fase von 5*45° versehen um es besser schweißen zu können. Bei den Flanschen wird auch ein kleiner Zentrierrand angedreht um die Teile konzentrisch zu verschweißen. Die Schweißarbeit liegt bei 2h. Die Dreharbeiten nach dem Schweißen belaufen sich auf 3h. Auch die Fräsarbeiten schlagen mit 3h zu Buche. Die Fräsarbeiten beinhalten das Ausfräsen des Montagefensters und der Nute. Auch die Befestigungsgewinde an der Ober- und Unterseite werden auf der Fräse ausgeführt.

Arbeitsaufwand 3h drehen=€ 55,00/h*3h= € 165,00

2h schweißen=€ 40,00/h*2h= € 80,00

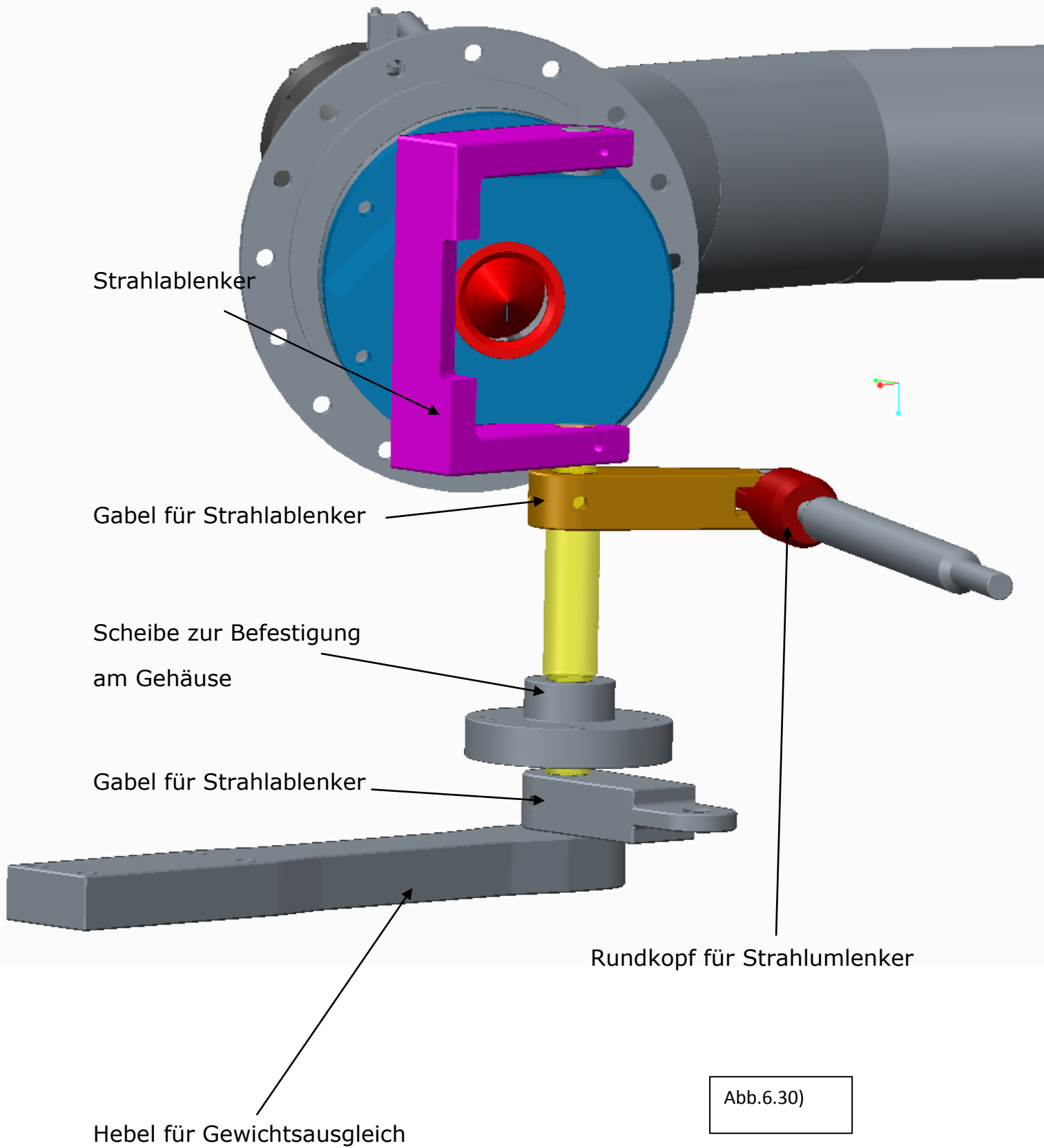
3h drehen = € 55,00/h*3h= € 165,00

3h fräsen = € 55,00/h*3h= € 165,00

Totale € 575,00

Die Gesamtkosten belaufen sich auf € 68,40 für die Materialkosten +€ 575,00 für die Arbeit = € **643,40**

6.6.10 Strahlumlenker



Der Strahlumlenker dient zur Regulierung des Wasserstrahls der Peltonturbine. Um unzulässige hohe Drucksteigerungen oder Druckstöße in der Rohrleitung zu vermeiden darf die Düse nur langsam geschlossen werden. Besteht aber dennoch die Notwendigkeit einer schnellen Regelung (infolge eines Netzausfalls oder sogar eines Netzzusammenbruchs) so wird in erster Linie der Düsenstrahl von den Turbinenlaufrad teilweise oder sogar vollständig abgelenkt, um die Turbinenlaufdrehzahl herunter zu fahren. Anschließend kann langsam die Düsennadel geschlossen werden.

Materialkosten: Flacheisen $V_1 = a * b * h = 3,7 \text{ dm} * 2,7 \text{ dm} * 1 \text{ dm} = 9,99 \text{ dm}^3$

$V_2 = a * b * h = 2,25 \text{ dm} * 2,7 \text{ dm} * 1 \text{ dm} = 6,07 \text{ dm}^3$

$V = 9,99 \text{ dm}^3 - 6,07 \text{ dm}^3 = 3,9 \text{ dm}^3$

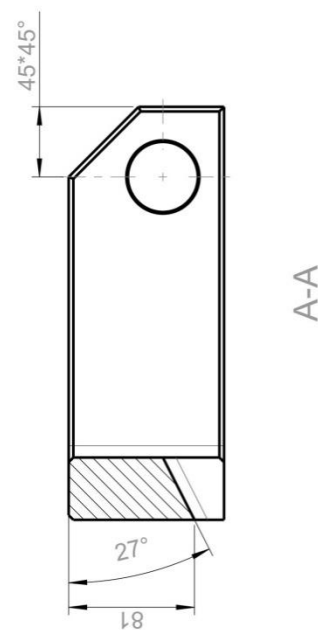
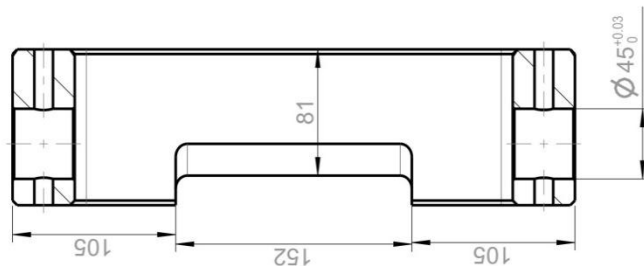
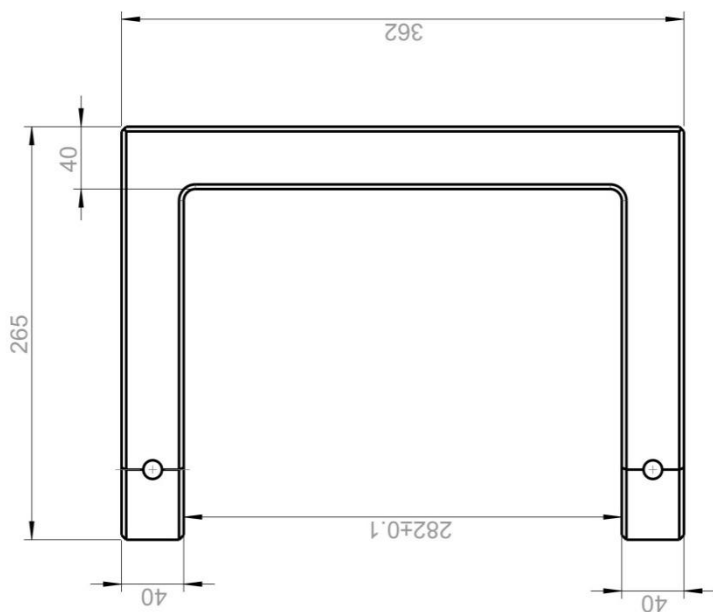
$$m = V * \rho = 3,9 \text{ dm}^3 * \frac{7,8 \text{ kg}}{\text{dm}^3} = 30,42 \text{ kg}$$

Das Material das wir mittels Brennschneiden haben schneiden lassen kostet €1,0€/kg. Die Materialkosten belaufen sich auf $30,42 \text{ kg} * €1,40/\text{kg} = € 42,58$.

Der zeitliche Aufwand für die Fertigung des Strahlumlenkers beträgt 6h.

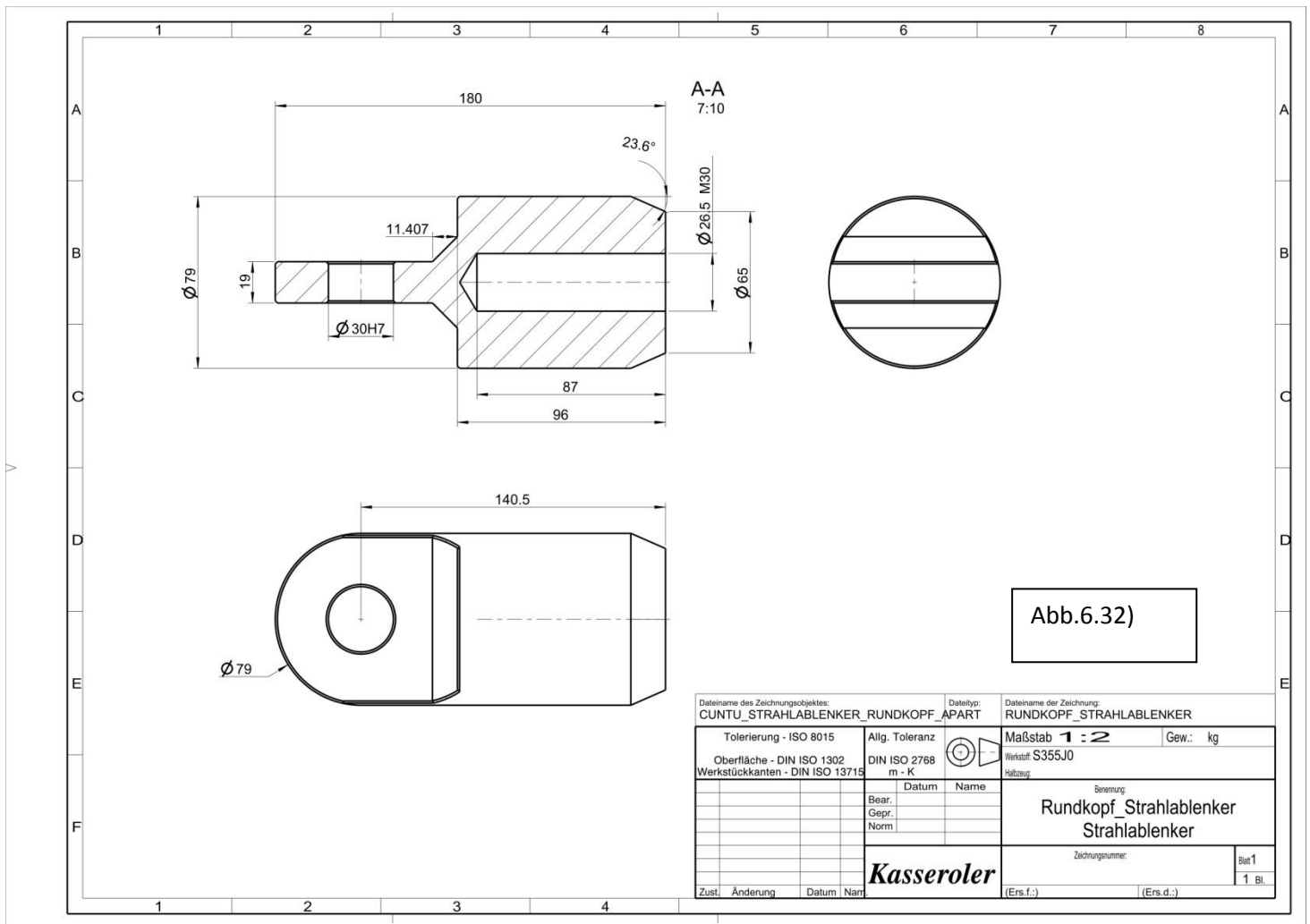
$6 \text{ h} * €55,00/\text{h} = € 330,00$

Gesamtkosten = € 330,00 + €42,58 = € 372,58 ~ € **372,00**



Dateiname des Zeichnungsobjektes: CUNTU_STRAHLABLENKER_A		Dateityp: PART		Dateiname der Zeichnung: GABEL	
Tolerierung - ISO 8015		Allg. Toleranz		Maßstab 1 : 5	
Oberfläche - DIN ISO 1302		DIN ISO 2768 m - K		Werkstoff: Haltzeug	
Werkstückkanten - DIN ISO 13715		Datum		Benennung:	
		Bear.			
		Gepr.			
		Norm			
				Zeichnungsnummer:	
				Blatt 1	
				1 Bl.	
Just.	Änderung	Datum	Nam	(Ers.f.)	
				(Ers.d.)	

6.6.11 Rundkopf für Strahlablenker



Der Rundkopf für Strahlablenker dient zur Verschraubung der Gewindestange. Diese dient wiederum die nächste Düse mit dem gleichen Mechanismus zu regeln.

Zwischenstück wird aus S355J0 gefertigt.

Materialkosten : $V = \pi * r^2 * h = 0.4^2 dm * \pi * 1.8 dm = 0,9 dm^3$

$$m = V * \rho = 0.9 dm^3 * \frac{7.8 kg}{dm^3} = 7.05 kg$$

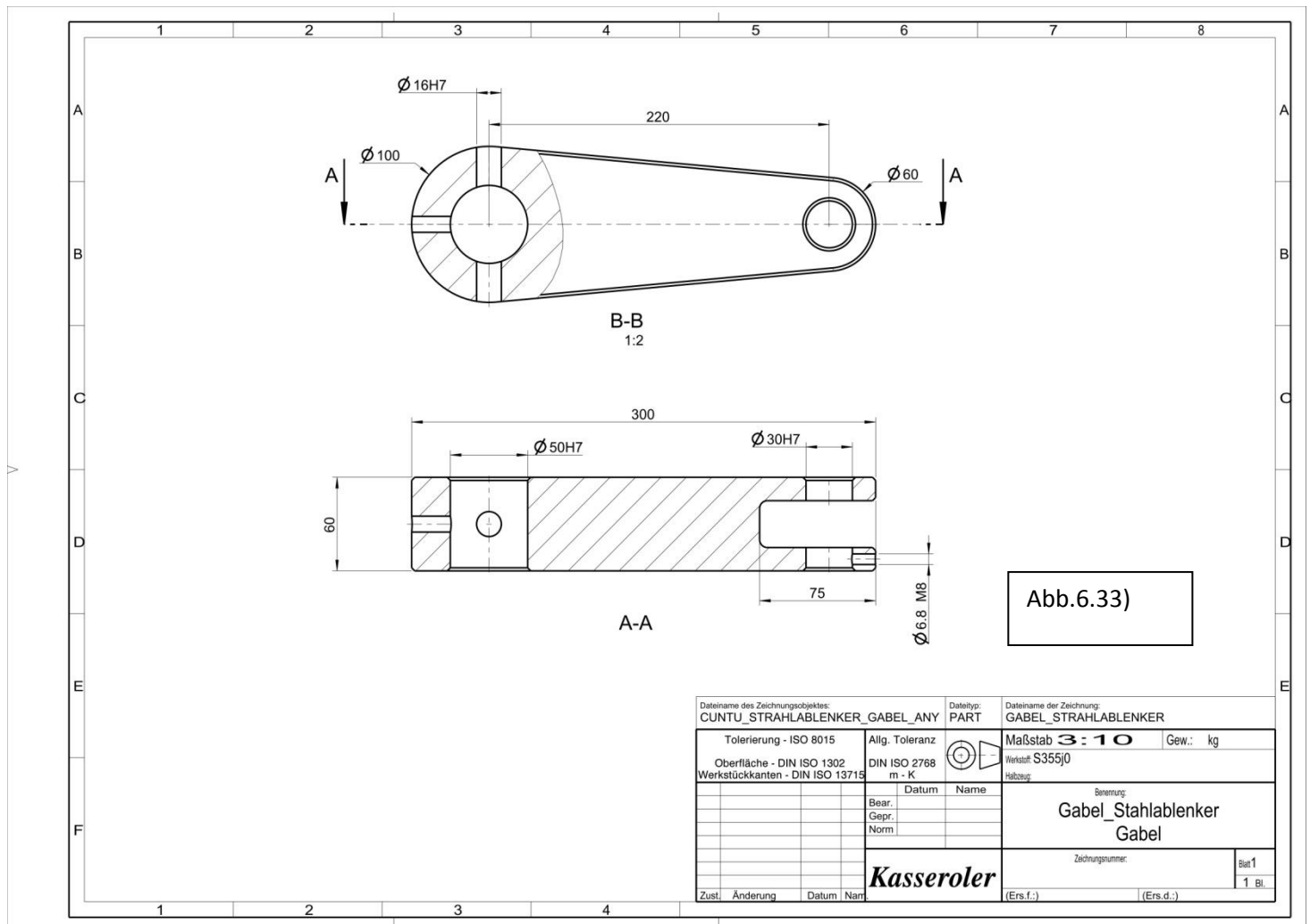
Materialkosten = $7.05 kg * €1,20 / kg \sim €8,50$

Der zeitliche Aufwand beträgt ca. 4h. Darin enthalten ist Dreh- und

Fräsarbeit : $4h * €55,00 / h = € 220,00$

$€ 220,00 + € 8,50 = € \underline{\underline{228,50}}$

6.6.12 Gabel für Strahlumlenker



Die Gabel dient als Hebel für den Strahlumlenkmechanismus. Bei diesem Hebel haben wir das ganze Teil umlaufend bearbeitet. Diese Arbeitsweise werden wir bei den nächsten Bauteilen nicht wiederholen. Die Fertigungskosten sind zu hoch. Die nächsten Gabel für Strahlumlenker werden wir mittels Brennscheiden extern fertigen lassen und dann nur mehr die Bohrungen und die Nute spanend bearbeiten lassen.

6.6.13 Gewindestange

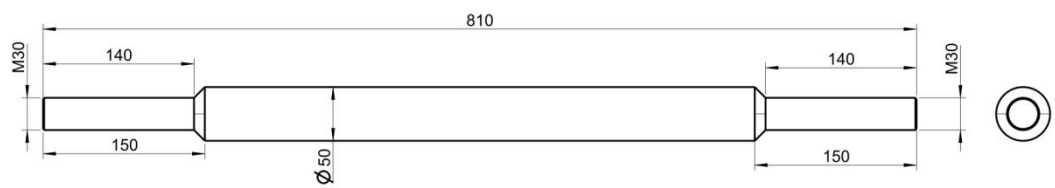


Abb.6.34)

Dateiname des Zeichnungsobjektes: CUNTU_GEWINDESTANGE_M30X2_ANY		Dateityp: PART	Dateiname der Zeichnung: GEWINDESTANGE	
Tolerierung - ISO 8015	Alig. Toleranz		Maßstab 1 : 10	Gew.: kg
Oberfläche - DIN ISO 1302	DIN ISO 2768		Werkstoff: C40	
Werkstückkanten - DIN ISO 13715	m - K		Halbzug:	
	Datum	Name	Benennung Gewindestange	
Bear.			Zeichnungsnummer	
Gepr.				
Norm				
		Kasseroler		Blatt 1
Zust.	Änderung	Datum	Name	(Ers.f.) (Ers.d.)

Die Gewindestange dient als Verbindungsstück zwischen den Strahlablenker und zur Regulierung wie weit der Strahlablenker von der Düse entfernt ist. In dieser Technischen Zeichnung ist das Gewinde noch mit M30 mit Normalsteigung bemaßt. Bei dem neueren Typen haben wir dann M30*1.5 gefertigt um den Strahlablenker besser einstellen zu können. Außerdem haben wir am Ø50 eine Schlüsselweite gefräst um die Welle festhalten zu können. Diese und ähnliche Verbesserungen werden bei der Montage gefertigt und anschließend in die Zeichnungen eingearbeitet.

6.6.14 Rohrleitung bis zur Düse

Das Zuleitungssystem wird aus mehreren Segmenten hergestellt. Ein Rohr wird in verschiedenen Winkeln geschnitten und anschließend zu einem Leitungssystem zusammengeschweißt.

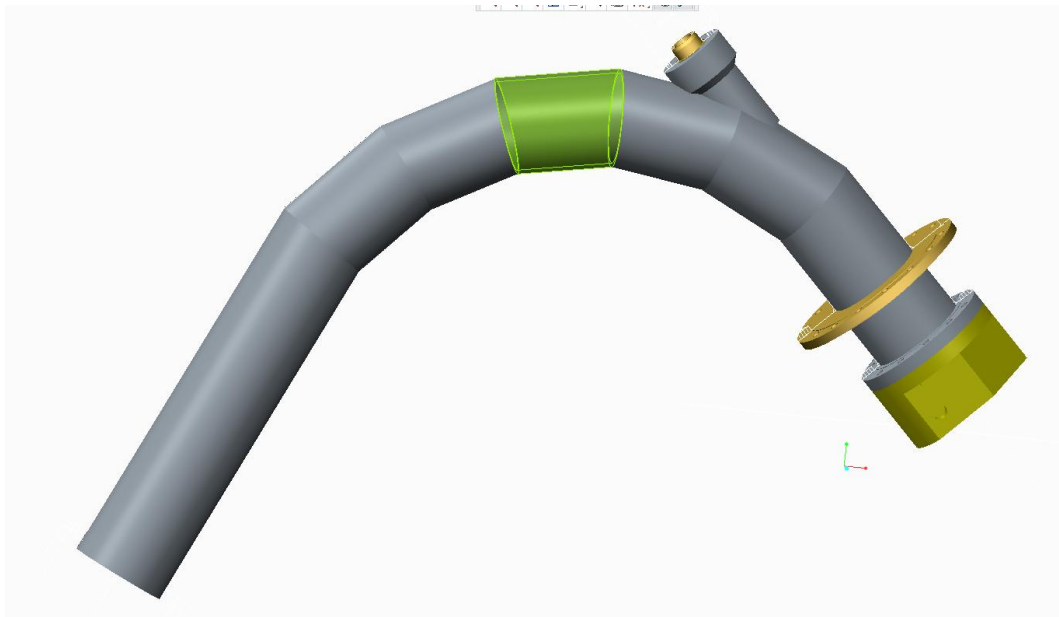


Abb.6.35)

Das verwendete Rohr ist ein Rohr mit einem Außendurchmesser von 252 und einem Innendurchmesser von 232. Bei einer durchschnittlichen Rohrlänge von ca. 2m pro Düse belaufen sich die Kosten für das Rohr wie folgt.

$$V = \pi * r^2 * h = 1.26^2 \text{dm} * \pi * 20 \text{dm} - (1.16^2 \text{dm} * \pi * 20 \text{dm}) \\ = 99,7 \text{dm}^3 - 84,50 \text{dm}^3 = 15,2 \text{dm}^3$$

$$m = V * \rho = 15,2 \text{dm}^3 * \frac{7,8 \text{kg}}{\text{dm}^3} = 118,56 \text{kg}$$

Materialkosten des Rohres : $118,56 \text{kg} * €2,20/\text{kg} = €260,83$.

Für das Rohrleitungssystem sind außerdem 2 Flanschen notwendig, die als Standartteile im Handel erhältlich sind. Die Flanschen kosten im Handel € 55,00 pro Flansch.

Der Arbeitsaufwand für die Schweißarbeiten und das Schneiden der Rohrsegmente beträgt 20 Stunden. Für die Schweißarbeiten und Schneiden haben wir einen Stundensatz von € 40,00 verrechnet.

Arbeitsaufwand = $32h * €40,00/h = €1.280,00$

Die Gesamtkosten für die Rohrleitung belaufen sich auf : Materialkosten für das Rohr € 260,83, € 110,00 für die Flanschen und € 1.280,00 für die Arbeit. Gesamtkosten belaufen sich auf € 1.650,83€. Nachdem der gesamte Düsenbogen zusammengeschweißt ist werden einzelne Flächen nachbearbeiten um eine genaue Düsenstrahlrichtung zu garantieren.

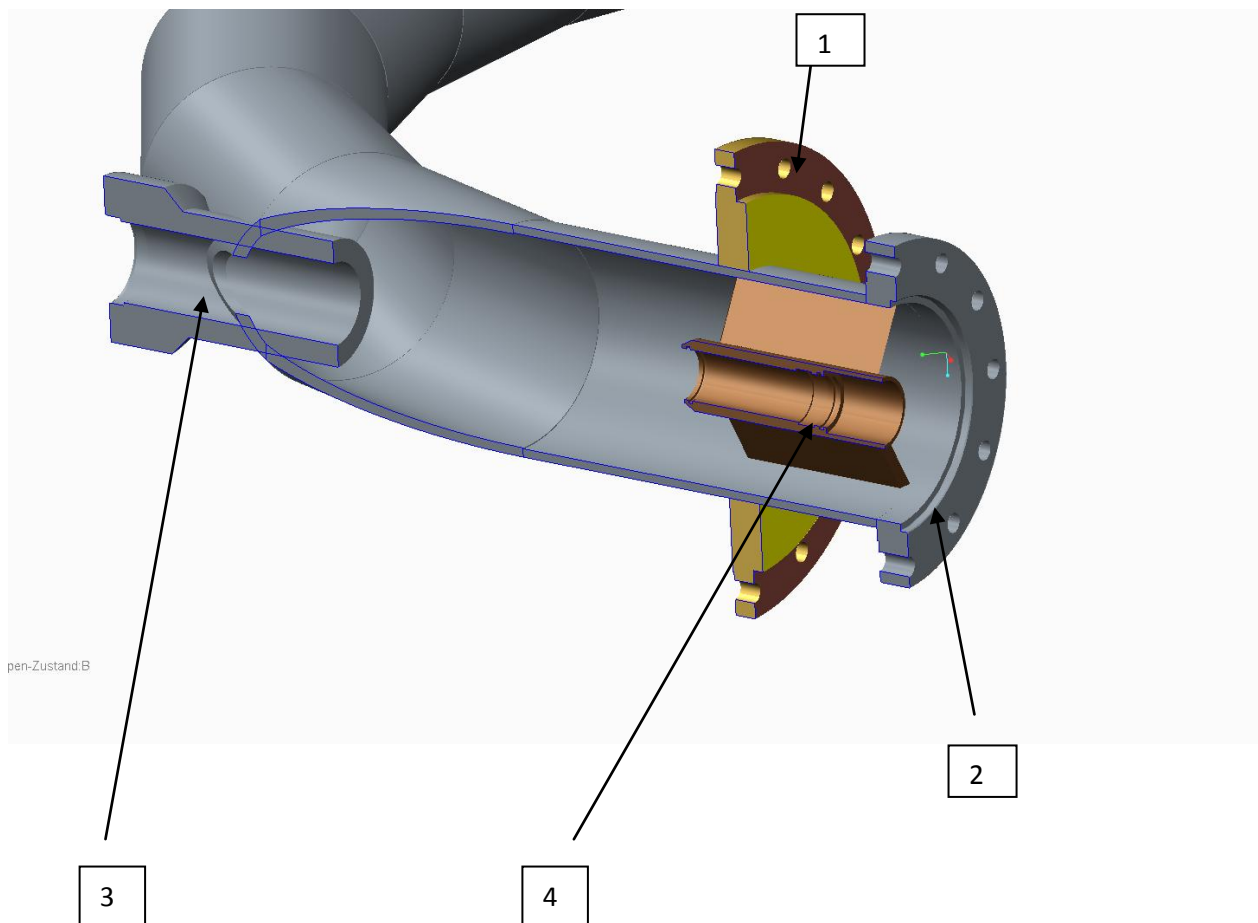
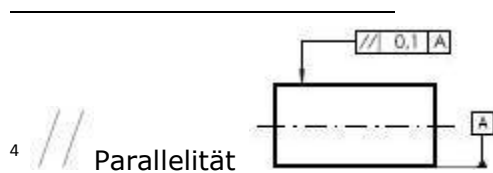


Abb.6.36)

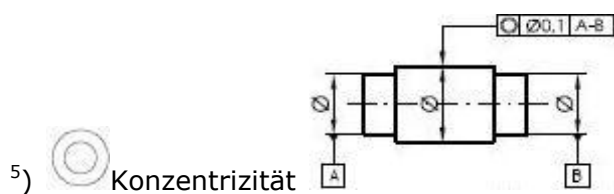
1. Diese Flächen haben wir nachbearbeitet um eine genaue Parallelität⁴ mit dem anderen Flansch zu Garantien.
2. Plangefräst damit die Düse den Düsenstrahl in die richtige Richtung leitet
3. Das Düsenstockende wird mit einem Ausdrehwerkzeug nachbearbeitet um eine Konzentrizität⁵ der Nadel mit dem Stabilisierungskreuz zu garantieren.
4. Auch das Düsenkreuz wir nachträglich mit einem Ausdrehwerkzeug nachbearbeitet

Der Zeitaufwand für die nachträgliche Bearbeitung beträgt ca. 12h. Da wir diesen großen Düsenbogen nur auf unserer großen Maschine fertigen konnten ist mit einen Stundensatz von € 80,00/h zu rechnen.

Bearbeitungskosten : $12h * €80,00/h = € 960,00$



Die tolerierte Fläche muss sich zwischen zwei Flächen, die Parallel zur Bezugsebene A sind und einen Abstand von 0,1 mm haben, befinden



Die Achse des tolerierten Durchmessers muss, zur Bezugsachse A-B, innerhalb eines Zylinders vom Durchmesser 0,1 mm liegen

Gesamtkosten des Düseneinheit :

Düse	€ 1.682,00
Nadelbirne	€ 370,00
Messingzwischenstück	€ 195,00
Nadel	€ 448,00
Düsenstockabdichtung	€ 139,00
Flansch1	€ 317,00
Düsenstock	€ 276,00
Flansch 2	€ 263,00
Stabilisierungskreuz	€ 173,00
Strahlumlenker	€ 372,00
Mantel für Düsenstock	€ 643,00
Bearbeitungskosten	€ 960,00
<u>Rohrleitung</u>	<u>€1650,83</u>
Totale	€ <u>6.278,83</u>

Parameterbezeichnung

K_a	=Kalkulatorische Abschreibungen	
K_I	=Instandhaltungskosten	
K_Z	= Kalkulatorischen Zinsen	
K_R	=Raumkosten	
K_E	=Energiekosten	
K_m	=Laufzahl; spezifische Umfangsgeschwindigkeit	
d_0	=Strahldurchmesser	m
n_q	=spezifische Drehzahl	1/s
C_0	=Strahlgeschwindigkeit	m/s
B	=Schaufelbreite	mm
\dot{Q}	=Volumenstrom ;Durchfluss in einer Pelton-Turbine	m ³ /s
\dot{Q}_D	=Volumenstrom ;Durchfluss bezogen auf einer Düse	m ³ /s
D	=Fallhöhe	m
D_m	=Strahlkreisdurchmesser	m
n	=Drehzahl	1/s
$\eta_{turb.}$	=Wirkungsgrad der Turbine	
$\eta_{gen.}$	=Wirkungsgrad des Generators	
ρ	=Dichte	kg/dm
V_f	=Vorschubgeschwindigkeit	mm/min
V_c	=Schnittgeschwindigkeit	m/min
f_z	=Vorschub pro Zahn	m/min

Literaturverzeichnis

Fritz Glocke, Wilfried König, Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren, 8.Auflage ,Springer Verlag Seite 383-384 Berechnung des Maschinenstundensatzes

Tabellenbuch Metall, Europa Lehrmittel, 37.Auflage , Seite 193

Fritz Glocke, Wilfried König, Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren, 8.Auflage ,Springer Verlag Seite 3

Heinz Tschätsch, Jochen Dietrich, Praxis der Zerspantechnik, Verfahren, Werkzeuge, Berechnungen, 9 Auflage S326-330

Eberhard Paucksch, Sven Holsten, Marco Linß, Franz Tikal, Zerspantechnik, Prozesse, Werkzeuge, Technologien 12.Auflage S82 Minimalmengenschmierung

Eberhard Paucksch, Sven Holsten, Marco Linß, Franz Tikal, Zerspantechnik, Prozesse, Werkzeuge, Technologien 12.Auflage S83 Trockenbearbeitung

Zh.Zhang, Freistrahlturbinen Hydromechanik und Auslegung ,Kapitel17 Hydraulische Auslegung von Peltonturbinen S205-208

Jürgen Gieseck, Emil Mosonyi ,Wasserkraftanlagen ,Planung, Bau und Betrieb ,5. Auflage Seite 509 ,Funktionsweise von hydraulischen Maschinen .

Zh.Zhang, Freistrahlturbinen Hydromechanik und Auslegung ,Kapitel2 Injektor S25

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Klausen den 29.09.2012